



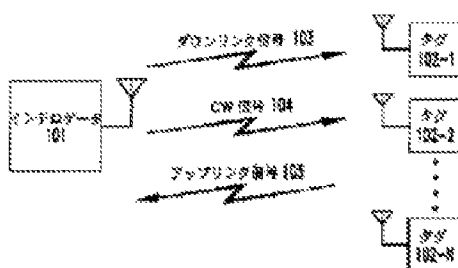


RADIO COMMUNICATION SYSTEM**Publication number:** JP9238115**Publication date:** 1997-09-09**Inventor:** JIYON OOSUTEIN MATSUKURERAN; AARU ANSONII
SHIYOBAA; JIYOBUANNI BUANNUTSUCHI**Applicant:** LUCENT TECHNOLOGIES INC**Classification:****- International:** G01S13/78; G01S13/82; G06K17/00; H04B1/59;
H04J3/00; G01S13/00; G06K17/00; H04B1/59;
H04J3/00; (IPC1-7): G01S13/78; H04J3/00; H04B1/59**- European:** G01S13/82B; G06K17/00G**Application number:** JP19960359368 19961212**Priority number(s):** US19950571004 19951212**Also published as:** EP0779520 (A2)
 US5940006 (A1)
 EP0779520 (A3)
 CA2190546 (C)

Report a data error here

Abstract of JP9238115

PROBLEM TO BE SOLVED: To make a plurality of tags to properly operate even when the tags independently and simultaneously respond when the tags exist in the reading field of an interrogator in making communication between the interrogator and the tags by using an MBS system. **SOLUTION:** In a TDMA system, an interrogator 101 generates first radio signals by modulating first information signals on radio carrier signals and transmits the first radio signals to tags 102-1 to 102-N. The tags 102-1 to 102-N generate second modulated signals by modulating second information signals on second radio signals and transmit the second modulated signals to the interrogator 101 by using a time slot system. The tags 102-1 to 102-N select the repeatedly transmitting times of the second modulated signals and the transmitting number of time slots of the second modulated signals after the first radio signals are selected. These selection can also be made in accordance with an instruction from the interrogator 101. In one embodiment, the second modulated signals are transmitted by using modulation reflection and demodulated by using homodyne detection.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-238115

(43) 公開日 平成9年(1997)9月9日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J 3/00			H 0 4 J 3/00	H
H 0 4 B 1/59			H 0 4 B 1/59	
// G 0 1 S 13/78			G 0 1 S 13/78	

審査請求 未請求 請求項の数55 O L 外国語出願 (全 62 頁)

(21) 出願番号 特願平8-359368

(22) 出願日 平成8年(1996)12月12日

(31) 優先権主張番号 5 7 1 0 0 4

(32) 優先日 1995年12月12日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッド

Lucent Technologies
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(72) 発明者 ジョン オースティン マックレラン
アメリカ合衆国, 07747 ニュージャージ
ー、アパーディーン、アンハースト コー
ト 1

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

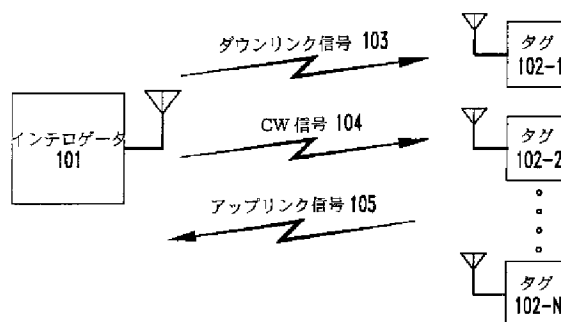
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線通信システム

(57) 【要約】

【課題】 MBS方式によるインテロゲータとタグとの通信において、インテロゲータの読取り領域に複数のタグが存在するときに、複数のタグが独立にかつ同時に応答する場合にも正しい動作を実現する。

【解決手段】 本発明によるTDMA方式では、インテロゲータ101は、無線キャリア信号上で第1情報信号を変調することによって第1無線信号を発生し、タグ102へ送信する。タグは、第2無線キャリア信号上で第2情報信号を変調して第2変調信号を形成し、タイムスロット方式でインテロゲータへ送信する。タグは、第2変調信号を反復送信回数を選択し、また、その送信が、第1無線信号の受信後の何個のタイムスロットにわたるかを選択する。これらの選択は、インテロゲータからの命令によることも可能である。一実施例では、変調反射を用いて第2変調信号を送信し、ホモダイン検波を用いて第2変調信号を復調する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 インテロゲータと、少なくとも1つのタグとからなる無線通信システムにおいて、前記インテロゲータは、第1無線信号を生成する手段と、前記第1無線信号を前記少なくとも1つのタグへ送信する手段とを有し、前記少なくとも1つのタグは、前記第1無線信号を受信する手段と、第2情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって第2変調信号を生成する第2情報信号変調手段と、それぞれの長さが等しくても等しくなくてもよい一連のタイムスロットに時間を分割する手段と、前記第1無線信号の受信後に、所定数のタイムスロット内で、前記第2変調信号を、該タイムスロットの所定数より少ない所定回数だけ反復して送信する手段とを有し、前記インテロゲータはさらに、前記第2変調信号を受信する手段と、前記第2変調信号を復調して前記第2情報信号を取得する復調手段とを有することを特徴とする、無線通信システム。

【請求項2】 前記インテロゲータは、前記第1無線信号の後にCW信号を生成し、前記少なくとも1つのタグは、前記CW信号の変調反射を利用して前記第2変調信号を生成することを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項3】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項2のシステム。

【請求項4】 前記第2情報信号変調手段は位相シフトキーイングを利用することを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項5】 前記インテロゲータは、少なくとも1つのオペレーションコードを含む第1情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって前記第1無線信号を生成する手段を有し、前記少なくとも1つのタグは、前記第1無線信号から前記第1情報信号を復調する手段と、前記第1情報信号から前記オペレーションコードを判定する手段とを有することを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項6】 前記インテロゲータは、前記第1情報信号内に「モード1」という名前の少なくとも1つのパラメータを含める手段を有し、前記少なくとも1つのタグは、前記第1情報信号から前記「モード1」パラメータの内容を復号する手段と、「モード1」の内容を用いて、前記第2変調信号の送信の反復回数を決定する手段とを有することを特徴とする

請求項5のシステム。

【請求項7】 前記インテロゲータは、前記第2変調信号の通信パフォーマンスを監視する手段と、前記第2変調信号の通信パフォーマンスに基づいて前記「モード1」パラメータを動的に調整する手段とをさらに有することを特徴とする請求項6のシステム。

【請求項8】 前記インテロゲータは、前記第1情報信号内に「モード2」という名前の少なくとも1つのパラメータを含める手段を有し、前記少なくとも1つのタグは、前記第1情報信号から前記「モード2」パラメータの内容を復号する手段と、「モード2」の内容を用いて、前記第1無線信号の受信後に前記第2変調信号の送信を所定回数だけ反復するタイムスロット数を決定する手段とを有することを特徴とする請求項5のシステム。

【請求項9】 前記インテロゲータは、前記第2変調信号の通信パフォーマンスを監視する手段と、前記第2変調信号の通信パフォーマンスに基づいて前記「モード2」パラメータを動的に調整する手段とをさらに有することを特徴とする請求項8のシステム。

【請求項10】 前記インテロゲータは、前記第1情報信号内に「モード1」および「モード2」という名前の少なくとも2つのパラメータを含める手段を有し、前記少なくとも1つのタグは、前記第1情報信号から前記「モード1」および「モード2」のパラメータの内容を復号する手段と、「モード1」の内容を用いて、前記第2変調信号の送信の反復回数を決定するとともに、「モード2」の内容を用いて、前記第1無線信号の受信後に前記第2変調信号の送信を所定回数だけ反復するタイムスロット数を決定する手段とを有することを特徴とする請求項5のシステム。

【請求項11】 前記インテロゲータは、前記第2変調信号の通信パフォーマンスを監視する手段と、前記第2変調信号の通信パフォーマンスに基づいて前記「モード1」および「モード2」のパラメータを動的に調整する手段とをさらに有することを特徴とする請求項10のシステム。

【請求項12】 前記インテロゲータは前記第1無線信号を反復して送信する手段を有することを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項13】 前記インテロゲータは前記第1無線信号を反復して送信する手段を有することを特徴とする請求項5のシステム。

【請求項14】 前記少なくとも1つのタグは、

前記第2情報信号内に、前記少なくとも1つのタグに対する少なくとも1つの固有の識別フィールドと、オプションの同期フィールドと、オプションの追加データと、オプションのタグAckフィールドと、オプションの誤り検出・訂正フィールドとを含める手段と、

「PAMA応答」という名前のオペレーションコードを受信した後に、前記第2情報信号を送信する手段とを有することを特徴とする請求項5のシステム。

【請求項15】 前記少なくとも1つのタグは、「リスン」という名前のオペレーションコードを受信した後に、前記第2変調信号を送信しないようにする手段を有することを特徴とする請求項5のシステム。

【請求項16】 前記インテロゲータは、タグアドレス、タグコマンド、およびオプションとしてタグデータを少なくとも含む第3情報信号を生成する手段と、

前記第3情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって第3変調信号を生成する手段と、

前記第3変調信号を前記少なくとも1つのタグへ送信する手段とを有し、

前記少なくとも1つのタグは、

前記第3変調信号を受信する手段と、

前記第3変調信号から前記第3情報信号を復調する手段と、

前記第3情報信号を復号する手段とを有することを特徴とする請求項5のシステム。

【請求項17】 前記少なくとも1つのタグは、前記タグアドレスおよび前記タグコマンドの内容を検査する手段と、

前記検査の結果に応じて、前記少なくとも1つのタグがアドレスされているかどうかを判断する手段と、

前記タグコマンドが正しく実行されているかどうかを判断する手段とを有することを特徴とする請求項16のシステム。

【請求項18】 前記インテロゲータは、前記第3変調信号の送信後に、前記第1無線信号を前記少なくとも1つのタグへ送信する手段を有することを特徴とする請求項16のシステム。

【請求項19】 前記少なくとも1つのタグは、タグデータと、オプションの同期フィールドと、オプションのタグAckフィールドと、オプションの誤り検出・訂正フィールドとを含む第4情報信号を生成する手段と、

前記第4情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって第4変調信号を生成する第4情報信号変調手段と、

前記第1情報信号内に含まれるオペレーションコードがタグ応答であり前記少なくとも1つのタグがアドレスされたタグである場合に限り、前記第4変調信号を送信する手段と、

前記少なくとも1つのタグがアドレスされたタグでない場合には前記第4変調信号を送信しないようにする手段とを有し、

前記インテロゲータは、

前記第4変調信号を受信する手段と、

前記第4変調信号から前記第4情報信号を復調する手段とを有することを特徴とする請求項18のシステム。

【請求項20】 前記少なくとも1つのタグは、前記第2変調信号内に含まれる前記第2情報信号として、前記タグAckフィールドに「肯定応答」を含むものを生成する手段と、

前記第1情報信号内に含まれるオペレーションコードが「PAMA応答」であり、前記少なくとも1つのタグがアドレスされたタグであり、前記タグコマンドが正しく実行されている場合に、前記第2変調信号を送信する手段とを有することを特徴とする請求項18のシステム。

【請求項21】 前記少なくとも1つのタグは、前記第2変調信号内に含まれる前記第2情報信号として、前記タグAckフィールドに「否定応答」を含むものを生成する手段と、

前記第1情報信号内に含まれるオペレーションコードが「PAMA応答」であり、かつ、前記少なくとも1つのタグがアドレスされたタグでないかまたは前記タグコマンドが正しく実行されていない場合に、前記第2変調信号を送信する手段とを有することを特徴とする請求項18のシステム。

【請求項22】 前記インテロゲータは、前記タグコマンド内にコマンド「静粛」を含める手段を有し、

前記少なくとも1つのタグは、

前記タグコマンド内に前記コマンド「静粛」を受信した後は送信をしないようにする手段と、

前記第1無線信号の受信後に、前記第1無線信号内に含まれる前記第1情報信号内に含まれるオペレーションコードがコマンド「PAMA応答クリア」を含む場合に、前記第2変調信号の送信を再開する手段とを有することを特徴とする請求項17のシステム。

【請求項23】 前記タグデータは、前記少なくとも1つのタグが前記第2変調信号を送信するために使用しているタイムスロット数を含むことを特徴とする請求項19のシステム。

【請求項24】 前記少なくとも1つのタグにおいて、前記第2情報信号変調手段または前記第4情報信号変調手段は、前記インテロゲータが提供するCW信号の変調反射を利用することを特徴とする請求項19のシステム。

【請求項25】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項24のシステム。

【請求項26】 前記少なくとも1つのタグにおいて、

前記第 2 情報信号変調手段または前記第 4 情報信号変調手段は、前記インテロゲータが提供する CW 信号の変調反射を利用することを特徴とする請求項 20 のシステム。

【請求項 27】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項 26 のシステム。

【請求項 28】 前記少なくとも 1 つのタグにおいて、前記第 2 情報信号変調手段または前記第 4 情報信号変調手段は、前記インテロゲータが提供する CW 信号の変調反射を利用することを特徴とする請求項 21 のシステム。

【請求項 29】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項 28 のシステム。

【請求項 30】 第 1 無線信号を少なくとも 1 つのタグへ送信する手段を有するインテロゲータを含む無線通信システムにおいて、前記少なくとも 1 つのタグは、前記第 1 無線信号を受信する手段と、サブキャリアのセットのうちの 1 つの生成する手段と、前記サブキャリアのセットから特定サブキャリアを選択する手段と、第 2 情報信号を前記特定サブキャリア上に変調することによって変調サブキャリアを生成する手段と、変調反射を用いて、前記変調サブキャリアを無線キャリア信号上に変調することによって第 2 変調信号を生成する手段と、前記第 2 変調信号を送信する手段とを有し、前記インテロゲータは、前記第 2 変調信号を復調して前記第 2 情報信号を取得する復調手段をさらに有することを特徴とする、無線通信システム。

【請求項 31】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項 30 のシステム。

【請求項 32】 前記インテロゲータは、第 1 情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって前記第 1 無線信号を生成する手段と、前記第 1 無線信号を少なくとも 1 つのタグへ送信する手段とをさらに有し、前記少なくとも 1 つのタグは、前記第 1 無線信号を受信する手段と、前記第 1 無線信号から前記第 1 情報信号を復調する手段と、前記第 1 情報信号を復号する手段とをさらに有することを特徴とする請求項 30 のシステム。

【請求項 33】 前記少なくとも 1 つのタグは、前記第 1 情報信号の内容に基づいて、前記特定サブキャリアの選択を実行する手段をさらに有することを特徴とする請

求項 32 のシステム。

【請求項 34】 前記インテロゲータの復調手段はデジタル信号プロセッサを有することを特徴とする請求項 30 のシステム。

【請求項 35】 インテロゲータと、少なくとも 1 つのタグとからなる無線通信システムにおいて、

前記インテロゲータは、

第 1 無線信号を生成する手段と、

前記第 1 無線信号を前記少なくとも 1 つのタグへ送信する手段と、

それぞれの長さが等しくても等しくなくてもよい一連のタイムスロットに時間を分割する手段とを有し、

前記少なくとも 1 つのタグは、

前記第 1 無線信号を受信する手段と、

サブキャリアのセットのうちの 1 つの生成する手段と、前記サブキャリアのセットから特定サブキャリアを選択する手段と、

第 2 情報信号を前記特定サブキャリア上に変調することによって変調サブキャリアを生成する手段と、

20 変調反射を用いて、前記変調サブキャリアを無線キャリア信号上に変調することによって第 2 変調信号を生成する手段と、

それぞれの長さが等しくても等しくなくてもよい一連のタイムスロットに時間を分割する手段と、

前記第 1 無線信号の受信後に、所定数のタイムスロット内で、前記第 2 変調信号を、該タイムスロットの所定数より少ない所定回数だけ反復して送信する手段とを有し、

前記インテロゲータはさらに、

30 前記第 2 変調信号を受信する手段と、

前記第 2 変調信号を復調して前記第 2 情報信号を取得する復調手段とを有することを特徴とする、無線通信システム。

【請求項 36】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項 35 のシステム。

【請求項 37】 前記インテロゲータは、第 1 情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって前記第 1 無線信号を生成する手段を有し、

40 前記少なくとも 1 つのタグは、

前記第 1 無線信号から前記第 1 情報信号を復調する手段と、

前記第 1 情報信号の内容に基づいて、前記特定サブキャリアの選択を実行する手段とを有することを特徴とする請求項 35 のシステム。

【請求項 38】 前記インテロゲータの復調手段はデジタル信号プロセッサを有することを特徴とする請求項 35 のシステム。

【請求項 39】 第 1 無線信号を少なくとも 1 つのタグへ送信する手段を有するインテロゲータを含む無線通信

システムにおいて、
 前記少なくとも1つのタグは、
 前記第1無線信号を受信する手段と、
 拡散符号のセットのうちの1つの生成する手段と、
 前記拡散符号のセットから特定拡散符号を選択する手段と、
 第2情報信号を前記特定拡散符号上に変調することによって拡散情報信号を生成する手段と、
 変調反射を用いて、前記拡散情報信号を前記第1無線信号の無線キャリア信号部分上に変調することによって第2変調信号を生成する手段と、
 前記第2変調信号を送信する手段とを有し、
 前記インテロゲータは、
 前記第2変調信号を受信する手段と、
 前記第2変調信号を復調して前記第2情報信号を取得する復調手段をさらに有することを特徴とする、無線通信システム。

【請求項40】 前記インテロゲータは、
 第1情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって前記第1無線信号を生成する手段をさらに有し、
 前記少なくとも1つのタグは、
 前記第1無線信号から前記第1情報信号を復調する手段と、
 前記第1情報信号を復号する手段と、
 前記第1情報信号の内容に基づいて、前記特定拡散符号の選択を実行する手段とをさらに有することを特徴とする請求項39のシステム。

【請求項41】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項39のシステム。

【請求項42】 前記少なくとも1つのタグは、アンテナの反射係数を変化させる反射係数変化手段を有することを特徴とする請求項39のシステム。

【請求項43】 前記反射係数変化手段は、ダイオード変調器を通る変調電流の大きさを変化させる手段を有することを特徴とする請求項42のシステム。

【請求項44】 第1無線信号を少なくとも1つのタグへ送信する手段を有するインテロゲータを含む無線通信システムにおいて、
 前記少なくとも1つのタグは、
 前記第1無線信号を受信する手段と、
 拡散符号のセットのうちの1つの生成する手段と、
 前記拡散符号のセットから特定拡散符号を選択する手段と、
 第2情報信号を前記特定拡散符号上に変調することによって拡散情報信号を生成する手段と、
 変調反射を用いて、前記拡散情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって第2変調信号を生成する手段と、
 それぞれの長さが等しくても等しくなくてもよい一連の

タイムスロットに時間を分割する手段と、
 前記第1無線信号の受信後に、所定数のタイムスロット内で、前記第2変調信号を、該タイムスロットの所定数より少ない所定回数だけ反復して送信する手段とを有し、
 前記インテロゲータは、
 前記第2変調信号を受信する手段と、
 前記第2変調信号を復調して前記第2情報信号を取得する復調手段をさらに有することを特徴とする、無線通信システム。

【請求項45】 前記インテロゲータは、第1情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって前記第1無線信号を生成する手段を有し、
 前記少なくとも1つのタグは、
 前記第1無線信号から前記第1情報信号を復調する手段と、
 前記第1情報信号を復号する手段と、
 前記第1情報信号の内容に基づいて、前記特定拡散符号の選択を実行する手段とをさらに有することを特徴とする請求項44のシステム。

【請求項46】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項44のシステム。

【請求項47】 前記インテロゲータの復調手段はデジタル信号プロセッサを有することを特徴とする請求項44のシステム。

【請求項48】 インテロゲータと、少なくとも1つのタグとからなる無線通信システムにおいて、
 前記インテロゲータは、
 第1無線信号を生成する手段と、
 前記第1無線信号を前記少なくとも1つのタグへ送信する手段とを有し、
 前記少なくとも1つのタグは、
 前記第1無線信号を受信する手段と、
 変調反射を用いて、第2情報信号を前記第1無線信号の無線キャリア信号部分上に変調することによって第2変調信号を生成する手段と、
 前記少なくとも1つのタグ内に含まれるアンテナの反射係数を変化させる手段と、
 前記第2変調信号を送信する手段とを有し、
 前記インテロゲータはさらに、
 前記第2変調信号を受信する手段を有することを特徴とする、無線通信システム。

【請求項49】 前記反射係数変化手段は、ダイオード変調器を通る変調電流の大きさを変化させる手段を有することを特徴とする請求項48のシステム。

【請求項50】 前記インテロゲータは、前記第2変調信号から前記第2情報信号を復調する復調手段を有し、
 該復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項48のシステム。

【請求項51】 前記インテロゲータは、第1情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって前記第1無線信号を生成する手段を有し、
前記少なくとも1つのタグは、
前記第1無線信号から前記第1情報信号を復調する手段と、
前記第1情報信号の内容を復号する手段と、
前記第1情報信号のに基づいて、前記アンテナの反射係数を変化させる手段とを有することを特徴とする請求項48のシステム。

【請求項52】 インテロゲータと、少なくとも1つのタグとからなる無線通信システムにおいて、
前記インテロゲータは、
第1情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって第1無線信号を生成する手段と、
前記第1無線信号を前記少なくとも1つのタグへ送信する手段とを有し、
前記少なくとも1つのタグは、
前記第1無線信号を受信する手段と、
前記第1無線信号から前記第1情報信号を復調する手段と、
前記第1情報信号を復号して、少なくとも1つのオペレーションコードと、オプションの追加パラメータを取得する手段と、
前記オペレーションコードの内容を判定するとともに、オプションとして、前記追加パラメータの内容を判定する手段と、
第2情報信号を生成する手段と、
変調反射を用いて、前記オペレーションコードの内容によって、もしくは、前記追加パラメータの内容によって、またはこれらの両方によって決定されるデータレートで、前記第2情報信号を無線キャリア信号上に変調することによって第2変調信号を生成する第2情報信号変調手段と、
前記第2変調信号を送信する手段とを有し、
前記インテロゲータはさらに、
前記第2変調信号を復調して前記第2情報信号を取得する復調手段を有することを特徴とする、無線通信システム。

【請求項53】 前記インテロゲータの復調手段はホモダイン検波を利用することを特徴とする請求項52のシステム。

【請求項54】 前記第2情報信号変調手段はデジタル信号プロセッサを有することを特徴とする請求項52のシステム。

【請求項55】 インテロゲータの無線信号を受信する受信器手段と、
タグ情報で変調した変調無線信号を、前記無線信号の受信後の所定期間内に所定回数だけ送信する送信器手段とからなることを特徴とする無線通信タグ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、無線通信システムに関し、特に、変調反射技術を用いた無線通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】無線周波数識別(Radio Frequency Identification, RFID)システムは、機器、在庫、あるいは生物の識別や追跡のために用いられている。RFIDシステムは、インテロゲータと呼ばれる無線トランシーバと、タグと呼ばれるいくつかの安価な装置との間で通信する無線通信システムである。RFIDシステムの目的は、信頼性が高く、安全で、新しいアーキテクチャを設計し、インテロゲータとタグの総コストを最小化しながら、システムパフォーマンス要求を満たすことである。RFIDシステムでは、インテロゲータは変調無線信号を用いてタグと通信し、タグは変調無線信号で応答する。ほとんどの場合、この通信は時分割二重(Time-Division Duplex, TDD)または半二重方式を用いる。また、米国特許出願第08/492,174号に記載されているように、全二重(Full Duplex, FD)方式も可能であり、高速の応答が必要な場合に特に有用である。TDD方式では、メッセージをタグへ送信した後、インテロゲータは連続波(Continuous-Wave, CW)無線信号をタグへ送信する。その後タグは変調反射(Modulated Backscattering, MBS)を用いてそのCW信号を変調する。その場合、アンテナは、変調信号によって、「開」から「短絡」へ電氣的に切り替えられる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】MBS方式の従来技術の例は、米国特許第4,075,632号および第4,360,810号に記載されている。MBS方式は一般に、インテロゲータからタグへの通信には振幅変調方式を利用し、タグからインテロゲータへの通信にはMBSを用いる。MBS通信では、従来の変調方式を利用することができる。MBSシステムは、インテロゲータの読取り領域に複数のタグが存在するときに正しく動作することが所望される。複数の装置がそれぞれ互いに他の存在を知らないときに中央の通信装置に応答することを可能にする古典的に周知の技術がある(例えば、単純アロハ、スロット化アロハ)。本発明は、複数のタグが独立にかつ同時に応答する場合にMBSシステムが正しく動作するための方法を改良するものである。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、新しい時分割多元接続(TDMA)二重無線通信システムは、無線キャリア信号上で第1情報信号を変調することによって第1の信号(第1無線信号)を発生するインテロゲータを含む。インテロゲータは、システムの少なくとも1つのリモートのタグへ第1無線信号を送信する。次

に、リモートタグは、第2無線キャリア信号上で第2情報信号を変調し、第2の信号(第2変調信号)を形成する。この第2変調信号は、タイムスロット方式で、インテロゲータへ送信される。リモートタグは、第2変調信号を何回反復して送信するかを選択し(あるいはリモートタグは、第2変調信号を何回反復して送信するかを命令され)、また、第1無線信号の受信後の何個のタイムスロットにわたってリモートタグが第2変調信号を反復して送信すべきかを選択する(あるいは第1無線信号の受信後の何個のタイムスロットにわたってリモートタグが第2変調信号を反復して送信すべきかを命令される)。本発明の別の実施例は、変調反射を用いて第2変調信号を送信し、ホモダイン検波を用いて第2変調信号を復調することを含む。また、複数のサブキャリア周波数を利用する新しい周波数分割多元接続(FDMA)二重無線通信システムも実現される。さらに、FDMA法とTDMA法を組み合わせた新しいアプローチも実現される。また、複数の拡散符号を利用する新しい符号分割多元接続(CDMA)二重無線通信システムも実現される。さらに、CDMA法とTDMA法を組み合わせた新しいアプローチも実現される。また、変調反射を用いた、タグのパワー制御の新しい方法も実現される。最後に、第2情報信号のデータレートを動的に変更するようにインテロゲータがタグに命令する方法も実現される。

【0005】

【発明の実施の形態】RFIDシステムアプリケーションには、ダウンリンク方向(インテロゲータからタグへ)とアップリンク方向(タグからインテロゲータへ)のデータレート要求条件で大きく異なるものがある。これらのアプリケーションは、読取り領域に位置するタグの数のような他のパラメータでも大きく異なる。例えば、ある種類のアプリケーションは、RFID技術を用いて、コンテナあるいはパレットに取り付けられたタグからの情報を読み取る。このアプリケーションでは、コンテナは(小型トラックによって引かれることによって)インテロゲータの読取り領域を横切って移動する。読取り領域は、トランザクションが成功するような空間として定義される。タグは読取り領域を通過して移動するため、RFIDシステムには、トランザクションが成功するために限られた時間しか与えられない。このアプリケーションでは、タグは読取り領域を通過して毎秒10メートルほどの速さで移動する可能性もある。読取り領域は、インテロゲータから5メートルのほぼ円錐形の体積からなり、円錐の広がり角度は約60度(インテロゲータからインテロゲータの正面の点までの直線経路の片側は30度)である。この状況では、各タグとのRFID通信は約0.2秒以内に完了しなければならない。また、このアプリケーションでは、一般に、同時に読取り領域にあるタグは数個(1~2個)のみである。

【0006】もう1つのアプリケーション例は、RFID

Dタグを用いて郵便局で郵便物の袋を追跡することである。この例では、郵便物の袋は大きい箱あるいはコンテナに入れられ、この箱は読取り領域を比較的小さい速さ(おそらくは高々毎秒1~2メートル)で通過する。しかし、このアプリケーションでは、読取り領域に同時に50個以上のタグが入ることがある。

【0007】他のアプリケーションでは、RFIDタグはスーパーマーケットの棚のすべての品物に取り付けられ、これらのタグは、ショッピングカートがインテロゲータの読取り領域を通過する際に検知される。このアプリケーションでは、50個をはるかに越えるタグが読取り領域に入ることがある。

【0008】他のRFIDシステムのアプリケーションでは、タグが、5メートルよりずっと長い距離で検知されることを要求するものがある。このような大きい範囲をサポートするには、ダウンリンクとアップリンクのデータレートは、タグおよびインテロゲータの両方における許容可能な信号対ノイズ比を維持するように制限される。これらのアプリケーションの例は米国特許出願第08/504,188号に記載されている。この米国特許出願では、タグは、スーパーマーケットの棚に正しい価格を表示する電子棚ラベルとして使用されている。

【0009】従って、本発明の目的は、一般のRFIDシステム設計がこれらのさまざまなアプリケーションをサポートすることを可能にするようなフレキシビリティを提供するRFIDシステムを実現することである。これを実現するため、本発明のRFIDシステムは、改良アップリンクで動作する変調反射法を利用する。

【0010】本発明によれば、3つの異なる多元接続方式、すなわち、時分割多元接続(TDMA)、周波数分割多元接続(FDMA)、および符号分割多元接続(CDMA)のうちの任意のものを用いてMBSシステムのアップリンクプロトコルおよびパフォーマンスが改善される。タグがダウンリンクから受信する情報は、タグに、これらの多元接続方式のうちのいずれを使用するかを通知するために用いられる。

【0011】図1は、本発明の適用を説明するのに有用なRFIDシステムの実施例の全体ブロック図である。RFIDインテロゲータ101は無線通信を用いて複数のタグ(タグ1(102-1)~タグN(102-N)、一般に102で示す)と通信する。ダウンリンク信号103は一般に振幅変調信号であり、タグ102に対して、タグ102がインテロゲータ101に返すべきアップリンク信号105について命令する。アップリンク信号105はMBSを用いることによってインテロゲータ101へ送信される。アップリンク信号105の詳細については後述する。略言すれば、インテロゲータ101は、ダウンリンク信号103を送信した後に、CW信号104をタグ102へ送信する。MBSを用いて、タグ102はこのCW信号104を変調しインテロゲータ

タ101へ返すことができる。

【0012】図2は、どのようにダウンリンク信号103がフォーマットされているかを示す。ダウンリンク信号103の主な目的の1つは、タグ102がインテロゲータ101との同期を実現することを可能にすることである。ダウンリンク信号は、同期フィールド201、オプションのオペコード（オペレーションコード）202、オプションのモード1インジケータ203、オプションのモード2インジケータ204、およびその他のオプションのモードインジケータ（例えば205）を含む。このフォーマットは一般的な方法の例示である。オペコード202はここでは別のフィールドとして扱っている。しかし、オペコード202はさらに一般的である。オペコード202は、ダウンリンク信号103の他の部分とは別のフィールドにある必要はない。例えば、オペコード202は、同期フィールド201に統合された一部であることも可能である。すなわち、同期に用いられるビットとオペコードに用いられるビットは任意の方法で混合することが可能である。その場合、タグ102がこの混合ビット列を受信した結果、ビット同期が達成される（これは同期フィールド201の目的である）とともに、タグ102はこの混合ビット列からオペコード202を推論することができる。さらに、明示的なオペコード202はオプションである。すなわち、後述の方法の特定の実装は何らかの方法でタグ102内に符号化されればよい。この場合、タグ102は、同期フィールド201を受信したときに一定の方法で応答するようにプログラムされる。この場合、明示的なオペコード202は送信されないが、オペコード、すなわち、特定の動作を実行する命令は、システムの設計によって含意されるものとなることが可能である。

【0013】同期フィールド201によって、読取り領域内のタグは、ダウンリンク信号103へのビット同期を達成する。このフィールドは一般に反復ビットパターンのセットである。最良の方法は、PN符号あるいはBarker符号を送ることである。オペコード202は、明示的であるかどうかにかかわらず、タグの基本的制御パラメータである。米国特許出願第08/482,173号では、タグからのアップリンク信号に2つの動作モードのうちのいずれを使用するかをタグに通知する目的で、類似の方法を用いている。本発明では、明示的オペコード202は、タグ102に、さまざまなアップリンク信号105のうちのいずれを用いるべきかを通知する。モード1（203）およびモード2（204）のメッセージは、タグに、特定のアップリンク信号105モードに使用すべきパラメータを命令するために送られる。

【0014】「時分割多元接続（TDMA）」使用される最も直接的な多元接続方式はTDMAである。TDMAでは、ダウンリンク信号103は読取りフィールド内のすべてのタグに、（例えば識別番号によって）応答す

べきであると通知する。ダウンリンク信号103の後に、タグ102はアップリンク信号105によって応答することができる。単純アロハとして知られる古典的な方法では、タグ102は、ダウンリンク信号103の後のランダムに選択した時刻に応答する。スロット化アロハという古典的方法では、RFIDシステムはダウンリンク信号103の後の時間を図3のように離散的なタイムスロットに分割する。この図で、ダウンリンク信号103の後で、時間は有限個のタイムスロット（一般には固定長）に分割される。第1タグからの応答のアップリンク信号105（この応答をタグ1応答（301）ということにする。）はタイムスロット3で受信される。タイムスロット1は、ダウンリンク信号103が受信されるタイムスロットである。第2タグからの応答のアップリンク信号105（タグ2応答（302）という。）はタイムスロット5で受信される。しかし、タイムスロット7では、タグ3応答（303）とタグ4応答（304）が両方とも受信されている。これを「衝突」という。衝突の結果、捕捉効果を見逃すれば、タグ3応答（303）およびタグ4応答（304）のいずれもインテロゲータ101によって正しくは受信されないことになる。

【0015】この問題を解決するため、本発明によって、ポリアロハ多元接続（Poly Aloha Multiple Access, PAMA）法が開発された。PAMAの例を図4に示す。この図には、「2アウトオブ12」PAMAが示されている。「2アウトオブ12」とは以下のことを意味する。ダウンリンク信号410は読取りフィールド内のすべてのタグへ送信される。このメッセージはそれらのすべてのタグに、「2アウトオブ12」PAMAを用いたアップリンク信号105で応答するよう命令する。すなわち、オペコード202は、明示的か暗黙的にかかわらず、PAMAを用いるべきことを示し、モード1（203）パラメータは「2」であり、モード2（204）パラメータは「12」である。注意すべき点であるが、図4のダウンリンク信号410の送信後、インテロゲータ101はCW信号411を送信し、タグ102がそのCW信号411を変調するとともに選択的にインテロゲータ101に反射するようにする。こうして、タグ応答（例えば401）は、CW信号411の変調された反射を表す。この方法を変調反射法（Modulated Backscatter）という。本明細書の残りの部分では、理解されるべき点であるが、CW信号411はタグの無線キャリア信号としても利用される。あるいは、所望により、タグは別々の無線キャリア信号発生器を有することも可能である。

【0016】PAMAでは、時間はタイムスロットに分割される。それらのタイムスロットは、簡単のため、ここでは長さが等しいものとして示す。インテロゲータ101は、1タイムスロットの時間内にダウンリンク信号

103を送信する。この例では、ダウンリンク信号103は定期的に8タイムスロットごとに送信される。この定期的送信が行われるのは、新しいタグがいつでも読取りフィールドに入ることができるようにするためであり、また、それらのタグは（上記のように）急速に移動している可能性があるのでタグを「見失わない」ように頻繁にダウンリンク同期メッセージが必要とされるためである。（注意すべき点であるが、FD方式では、同期信号は常に利用可能である。）モード2パラメータ（この場合は12）は、タグ102がダウンリンク信号（例えば410）を受信した後、次のモード2（すなわち12個の利用可能な）タイムスロット内にモード1（すなわち2個の）アップリンク信号105応答を（MBSを用いて）送信することを示す。注意すべき点であるが、図4のタイムスロット8はダウンリンク信号420で占められているため、タグ102はこのタイムスロットを利用可能であるとはみなさない。タグは、利用可能な12個のタイムスロットのうちのいずれの2個を用いてアップリンク信号105に用いるかをランダムに選択する。

【0017】上記では、「オペコード202はPAMAを用いるべきことを示す」と述べた。上記のように、オペコード202はオプションのパラメータであり、明示的に含まれることもあれば、システム設計に基づいて推論されることもある。従って、ダウンリンク信号103は、同期フィールド201、モード1（203）パラメータ、およびモード2（204）パラメータを含むが、明示的なオペコード202を含まない、という可能性がある。この場合、オペコード202は、システム設計によって、「このダウンリンク信号103を受信するすべてのタグ102は（モード1）アウトオブ（モード2）PAMA方式を用いてアップリンク信号105で応答すべきである」ということを意味するものと推論される。このように、オペコード202は暗黙的となる。しかし、複雑なプロトコルが必要な場合、例えば、標準的なPAMA応答を送信すること以外の機能を実行するようにタグ102に命令したいような場合には、明示的なオペコード202が必要となる。

【0018】従って、PAMAは、ダウンリンク信号103によって決定される可変の「モード1」および「モード2」のパラメータを許容するように一般化され、さまざまな種類のRFIDアプリケーションが共通のプロトコルを使用することを可能にする一般的方法を構成する。PAMAはさらに、ダウンリンク信号103によって、タグ102に対して、アップリンク信号105で送られたデータや、各タイムスロットによって占められる時間の長さなどを変更するように命令することを可能にするように一般化される。これは、図2のダウンリンク信号103をそのまま拡張してダウンリンク信号103にさらに「モードN」パラメータを追加することによ

て実現される。

【0019】「モード1」および「モード2」のパラメータは以下のように用いられる。読取りフィールド内に入ってきたタグ102があり、タグ102があまり急速に移動していないRFIDアプリケーションは、大きい「モード2」パラメータを用いる。すなわち、アップリンク信号105の時間間隔をあけて、より多くのアップリンク信号105が正しく受信されるようにすることが可能である。読取りフィールド内のタグ102が少なく、タグ102が急速に移動しているRFIDアプリケーションは、小さい「モード2」パラメータを用いる。すなわち、アップリンク信号105が比較的短時間内に受信されるようにすることにより、タグ102が急速に移動することを可能にする。アップリンク伝送が成功する特定の確率を達成するために、モード1パラメータは、読取りフィールド内のタグの予想される数および速度に基づくとともに、「モード2」の選択された値に基づいて決定することも可能である。

【0020】PAMA法のもう1つの例を次に説明する。インテロゲータ101は、特定のタイムスロット中に受信されるアップリンク信号105の信号強度および誤り特性を測定する。あるタイムスロット内で信号強度は強いが、そのタイムスロット内で誤り率は高い場合、複数のタグ102がそれぞれそのタイムスロット内でアップリンク信号105を送信したと推論するのが合理的である。この事象が一連のタイムスロットにわたって頻繁に生起する場合、「モード1」および「モード2」の現在の値がサポートすることができるよりも多くのタグ102が読取りフィールド内にあると推論するのが合理的である。この場合、インテロゲータ101はダウンリンク信号103において「モード1」および「モード2」のパラメータを変更することができる。その場合はおそらく、読取りフィールド内のタグに対して、アップリンク信号105どうしの間のタイムスロット間隔数を大きくする（すなわち、「モード2」を増加する）ように命令することになる。また、シミュレーションあるいは実験によって分かることであるが、「モード1」の変更もこの場合の助けとなりうる。この方法を用いて、PAMA方式は、読取りフィールド内のタグ102の数の特徴に基づいて動的に適応させることができる。

【0021】上記のPAMA方式は、インテロゲータ（101）がコマンドあるいはデータを特定のタグ102に送ることを可能にするようにさらに一般化することができる。これは以下のようにして行うことが可能である。オペコード202は、タグ102に対して、上記のようにPAMA方式を用いて自己の識別番号により応答するように指令することができる。あるいは、オペコード202は、タグ102に対して、即座には応答しないように指令することも可能である。これを図5に示す。インテロゲータ101は、読取りフィールド内のすべて

のタグ102にダウンリンク信号510を送る。ダウンリンク信号510内のオペコード202は、すべてのタグ102に対して、次のダウンリンク信号520を受信するまで聴取（リスン）し、タグ応答（例えば401）を送信しないように命令する。次に、インテロゲータ101は、通信したい特定のタグ102の識別番号を示すタグアドレス（501）を送信する。タグアドレス501の後で、タグコマンド502がタグ102へ送られる。タグコマンド502は、インテロゲータ101がそのタグ102に実行するよう指令している動作を示す。次に、オプションであるが、タグデータ503がインテロゲータ101によってタグ102に送られる。このオプションのフィールドは、インテロゲータがこのタグ102に対して、例えば、ローカルメモリに記憶してほしいデータを含む。図5では、タグアドレス501は送信に2個のタイムスロットを要し、タグコマンド502は送信に1個のタイムスロットを要し、タグデータ503は送信に2個のタイムスロットを要するように示されている。これらの選択は単に例示のためのものである。実際の実装では、これらの3つの送信（501、502、または503）のそれぞれに要する時間の長さは、図5に示したタイムスロット数より多いことも少ないこともあり得る。実際のタイムスロット数、あるいは、これらの送信のうちの一部または全部（501、502、または503）を単一のタイムスロット内に行うことができるかどうかは、1タイムスロットの長さ、ダウンリンクのデータレート、これらの各送信（501、502、または503）のビット数などに依存する。また、図5において、ダウンリンク信号510、タグアドレス501、タグコマンド502、およびタグデータ503のうちの全部または一部を単一のタイムスロット内に送信することも可能である。上記のように、これは、タイムスロットの長さ、送信すべき各フィールドのビット数、およびダウンリンクのビットレートなどによって決定される。

【0022】従って、特定のタグ102に対して、ある動作およびそのタグ102宛の特定のデータを含む特定のメッセージを送ることが可能である。ここで、明らかに、複数のタグ102への通信を図5のタイムスロット2～7の期間内に行い得るほどに、ダウンリンクデータ伝送レートが十分大きく、送信（501、502、および503）中の情報ビット数が十分に小さい場合には、プロトコルを拡張して、複数のタグ102が、異なる動作およびデータを含む特定のメッセージを受け取るようにすることが可能である。

【0023】図5のタイムスロット8において、インテロゲータはダウンリンク信号520を送信する。ダウンリンク信号520は、読取りフィールド内のすべてのタグ102に、自己の識別番号により応答するよう要求することが可能である。あるいは、インテロゲータ101

は、読取りフィールド内のすべてのタグ102に、次のタグアドレス501、タグコマンド502などをリスンするよう要求するダウンリンク信号520を送信することも可能である。これは、インテロゲータ101が、別のタグ102へコマンドあるいはデータを送信したい場合に行われる。

【0024】インテロゲータ101が、タグアドレス501、タグコマンド502などを送信したと仮定し、さらに、タグコマンド502によって示される動作は、宛先タグ102-1に何らかの機能（例えば、タグデータ503フィールド内に送信されたデータを記憶する）を実行するよう命令するものであって、インテロゲータ101へデータを返送することをタグ102-1に対して要求するものではないと仮定する。しかし、データがインテロゲータへ返送されない場合であっても、タグ102-1は、前のコマンドの受信の成功（すなわち、コマンドが正当であったこと、メッセージ全体が誤りなく受信されたこと、コマンドの実行が成功したことなど）を示す肯定応答を送信しなければならない。従って、前のメッセージの受信の成功後、インテロゲータ101は、タグ102-1を含むすべてのタグ102に対して、アップリンク信号105で上記のPAMA方式を用いて応答するよう命令するもう1つのダウンリンク信号103を送信する。タグ102-1は、アップリンク信号105内に、前のメッセージの受信成功を示すタグAck604（詳細は後述）を含める。タグ102-1が前のメッセージを正しく受信していない場合、あるいは、タグコマンド502を実行することができない場合、タグ102-1は、このタグ102が前のメッセージに基づくアクションをしていないことを示すタグAck604を含むアップリンク信号105を送信する。他のすべてのタグ102もまた、前のメッセージに基づくアクションをしていないことを示すタグAck604を含むアップリンク信号105を、PAMA方式を用いて送信する。こうして、この方式では、タグ102-1は、前のメッセージに対して肯定応答し、通常のPAMA方式が開始される。

【0025】上記のPAMA方式は、タグ102が、タグ応答（例えば401）中で通常応答するときのデータ以外のデータにより応答することを可能にするようにさらに一般化することができる。上記の方法を用いて、タグ102は特定のタグアドレス501、タグコマンド502、およびオプションのタグデータ503を送信することができる。注意すべき点であるが、上記の方法は、読取りフィールド内の1個のタグ、複数のタグ、あるいはすべてのタグ102へ特定のタグコマンド502を送るために使用することも可能である。タグアドレス501フィールドは、読取りフィールド内の1個のタグ（例えば102-1）を指定することも可能であり、あるいは、読取りフィールド内の複数のタグ102（例えば、

10

20

30

40

50

共通のタイプの貨物コンテナを表すすべてのタグ102)を指定することも可能である。また、タグアドレス501は、読取りフィールド内のすべてのタグ102を指定することも可能である。以下では簡単のため、タグアドレス501によってただ1つのタグ(タグ102-1)が指定されたと仮定する。こうして、このタグ102-1は、タグコマンド502によって示される動作を実行するよう命令される。

【0026】上記の方法の具体的実施例について説明するため、図6のAおよびBに、タグ応答(例えば401、402など)をどのようにフォーマットすることができるかを示す。図6のAは、タグ102が「通常の」PAMA応答で使用するアップリンク信号105を示す。このフォーマットは、このタグ102がタグアドレス501フィールドによって以前にアドレスされていない場合に使用される。また、このフォーマットは、タグ102がタグアドレス501フィールドによって以前にアドレスされたが、何らかの理由で(上記のように)このタグ102はタグコマンド502の実行に成功しなかった場合にも使用される。アップリンク信号105の応答は、同期信号601(これにより、インテロゲータ101は、このアップリンク信号へのビット同期を正しく実現する)により開始し、次にタグID602(このタグがいずれのタグであるかを示す固有の番号)を含み、次に、オプションのデータ603(タグID602とともにインテロゲータ101へ常に送信される、タグ102に記憶されたデータを含む)を含み、次にタグAck604(「否定応答」を含む)を含み、次に、誤り検出・訂正606(これにより、インテロゲータ101は、受信したアップリンク信号の正確さを検査し、あるいは、訂正することができる)を含む。

【0027】タグ102-1が、最後のダウンリンク信号520の直前に、タグアドレス501、タグコマンド502、およびオプションのタグデータ503を既に受信しており、タグコマンド502の実行が成功した場合、このタグ102-1は図6のBのような応答をする。この応答は、上記の図6のAの応答と本質的に同一である。ただし、タグAck604の内容は「肯定応答」である。タグAck604フィールドで「肯定応答」を使用することは、タグコマンド502の実行の成功を示す。注意すべき点であるが、「肯定応答」は、任意の方法で(例えば、「肯定応答」を「1」として、「否定応答」を「0」として)符号化可能な一般的な応答である。こうして、図6のAおよびBのタグ応答は、長さおよびフォーマットを同一にすることが可能であり、上記のPAMA方式を用いて(すなわち、これらのタグ応答は、次の「モード2」個の利用可能なタイムスロットのうち「モード1」回送信される)インテロゲータ101へ送信することが可能となる。ただし、「モード1」および「モード2」のパラメータは、ダウンリンク信号5

20中にインテロゲータ101へ送信される。

【0028】注意すべき点であるが、図5には、インテロゲータ101がタイムスロット8中にダウンリンク信号520を送信することが示されている。タグデータ503はタイムスロット6中に完了するため、インテロゲータは、タイムスロット8ではなくタイムスロット7中にダウンリンク信号520を開始することも選択することができる。このように、タグアドレス501、タグコマンド502およびタグデータ503のフィールドが多くのタイムスロットを必要としない場合、次のダウンリンクメッセージ520は、なるべく短い全期間で多くのトランザクションが行われるように、できるだけ早く送信することが可能である。

【0029】上記のプロトコルの1つの応用例は、タグ102が読取りフィールド内にあると識別された場合に、インテロゲータが、特定のタグ102に対して、そのタグ102はさらに応答しないようにと命令したい場合である。これは、タグ102が読取りフィールド内にいつまでもとどまったままであり、ずっと応答し続けている場合に起こりうる。この場合、応答を停止させなければ、タグ102の電池が切れてしまう。従って、特定のタグが肯定応答に成功し、肯定応答し続けていることを、インテロゲータは認識し、そのタグに、(おそらくは特定の時間)さらに応答することを停止するよう要求することが有用である。これは、インテロゲータが、図5に示したようなこのタグのアドレス501およびタグコマンド502(このタグコマンド502は、この特定のタグ(タグ102-1)にさらに応答することを停止するよう命令するものとする)を送信することによって実現される。この同じ方法のもう1つの利用法は、インテロゲータ101が特定のタグ102-1からアップリンク信号105を受信し、従って、このタグ102-1が読取りフィールド内にあると識別した後、この特定のタグ102-1に、さらに応答することを停止するよう命令することである。これにより、読取りフィールド内の残りのタグ102が上記のPAMA方式によって応答し続ける際に、インテロゲータ101がそれらのタグからのアップリンク信号105を衝突なしに受信する確率を高くすることが可能となる。従って、この方法を用いて、PAMAにより、読取りフィールド内のさらに多くのタグをサポートすることが可能となる。

【0030】上記ならびに図6のAおよびBに示したように、インテロゲータ101は、タグ102が通常タグ応答信号中に送信するタグID602およびオプションのデータ603以外のデータをインテロゲータへ送信することを要求することが可能である。このような交換は、以下のようにして行われる(図7)。図7において、インテロゲータ101は、読取りフィールド内のタグ102へダウンリンク信号710を送信する。このとき、ダウンリンク信号710内のオペコード202は

「リスン」に設定する（すなわち、タグ102に対して、PAMA方式による応答はせず、ダウンリンク信号710の直後のタグアドレス701をリスンして、このタグ102が特にアドレスされているかどうかを判断するよう要求する）。次に、インテロゲータ101は、タグアドレス701、タグコマンド702、および（オプションとして）タグデータ703を、特定のタグ102-1へ送信する。タグコマンド702は、このタグ102-1に、そのデータ（これは、タグ102-1のメモリに記憶されているデータ、あるいは、タグ102-1に接続されたセンサあるいはその他の通信デバイスから収集されたデータなどである）の一部または全部を送信するよう命令する。次に、インテロゲータは、この特定のタグ102-1にダウンリンク信号720を送信する。このダウンリンク信号720は、タグ102-1がタグコマンド702によって要求されるデータによって応答し、このアドレスタグ応答にPAMAを用いるのではなく、ダウンリンク信号720の完了直後にこのタグ応答の送信を開始するよう命令するものである。また、このダウンリンク信号720内のオペコード202は、タグ102-1以外の読取りフィールド内のすべてのタグに、次のダウンリンク信号730が受信されるまで応答しないように命令する。アドレスタグ応答704は、図6のCのようなフォーマットを有する。アドレスタグ応答704は、必要に応じて（必要なデータの量、データレートなどに基づいて）長くまたは短くすることが可能である。アドレスタグ応答704（図7では、タイムスロット13の途中まで続くように示されているが、これは、上記の要因に応じてさらに長い時間または短い時間とすることも可能である）が完了した後、インテロゲータ101は（同期信号601、タグデータ605、および誤り検出・訂正606の受信成功によって）、アドレスタグ応答704は完了したことを認識し、その後、インテロゲータは、図7に示したように、タイムスロット14中に次のダウンリンク信号730の送信を開始することができる。注意すべき点であるが、タイムスロット16まで待機する必要はない。なぜならば、タグ102-1以外のすべてのタグ102は次のダウンリンク信号730を待っているからである。このダウンリンク信号730は、読取りフィールド内のすべてのタグ102に、それらのタグ応答信号（図6のA）で応答するよう命令する（すなわち、ダウンリンク信号730のオペコード202を「PAMA応答」とする）ことが可能である。

【0031】上記の説明から明らかなように、全二重通信のためのすべての必要な構成要素が存在する。まず、インテロゲータ101は、いずれのタグ102が読取りフィールド内にあるかを判断したいとする。そのため、インテロゲータ101は、読取りフィールド内にあるタグ102があればPAMA多元接続方式を用いて応答す

るよう要求するダウンリンク信号410を送信する。すると、タグ102は図4のようにして応答する。すると、インテロゲータは、読取りフィールド内のタグ102のタグIDを知る。インテロゲータ101は、特定のタグ（タグ102-1）ヘデータを送信するとともにタグ102-1からデータを受信したいとする。その場合、インテロゲータ101は、タグ102-1のタグID602として受信したのと同じアドレスをタグアドレス501とするダウンリンク信号510を送信する。これにより、タグ102-1は、コマンドおよびデータが自分に送られていることを（タグコマンド502およびタグデータ503の形で）知ることが可能である。また、ダウンリンク信号510は、すべてのタグ102に対して、自己のタグIDがタグアドレス501に一致するかどうかをリスンするよう命令する。次に、インテロゲータは、タグ102-1が図6のCのようなタグ応答信号を送信することを要求するダウンリンク信号520を送信する。インテロゲータは、図6のCのようなタグ応答信号を受信した後、ダウンリンク信号730を送信してプロセスを再開する。

【0032】上記の例の変形例により、読取りフィールド内にさらに多くのタグ102が許容される。インテロゲータ101は、ダウンリンク信号410を送信して読取りフィールド内のタグ102が図6のAにより応答することを要求する。次に、インテロゲータは、読取りフィールド内のタグ102のうちの全部または一部のタグID602を知る。次に、インテロゲータ101は、オペコード202を「リスン」にしてダウンリンク信号510を送信してから、タグアドレス501およびタグコマンド502を送信し、特定のタグ（102-1）に対して、オペコード202を「クリア、PAMA応答」としたダウンリンク信号510が送信されるまで当該タグが応答を停止すべきことを通知する。このダウンリンク信号510は、読取りフィールド内のすべてのタグ102に対して、以前には応答しないように指示されていても応答するよう要求するものである。このようにして、タグ102-1は無応答にされ、すべてのタグから受信可能となる確率が増大する。この手順は、読取りフィールド内のすべてのタグ102が識別されるまで、次々とタグ102に対して応答を停止するよう指示することにより、継続することができる。

【0033】最後に、インテロゲータ101が、特定のタグ102によって選択されたPAMAパターンを知ることが有用となることがある。例えば、「2アウトオブ12」PAMAの場合、2つの応答は許容されるタイムスロット番号4および10（図4のタグ1応答（401, 403）参照）で送信されるという意味で、PAMAパターンは系列「4, 10」である。この情報は、インテロゲータ101が、衝突を避けることによって読取りフィールド内の多数のタグ102をサポートする際に

有益となる可能性がある。インテロゲータ101は読取りフィールド内に特定のタグ102-1を識別したが、インテロゲータ101はこのタグ102-1のPAMAパターンを知りたいと仮定する。インテロゲータ101は、オペコード202を「リスン」としたダウンリンク信号510を送信する。このコマンドは、すべてのタグ102に対して、以後のメッセージをリスンするよう命令するものである。次に、インテロゲータ101は、タグアドレス501（そのアドレスはタグ102-1のアドレスである。）とタグコマンド202（このコマンドはこの特定のタグに対してそのPAMAパターンを含むデータにより応答するよう命令する）を送信し、オプションとして、タグデータ503（インテロゲータ101がタグ102-1へデータも送信したい場合）を送信する。このタグコマンド502は、タグ102-1に対して、図6のCのようにタグデータ605フィールド内にそのPAMA系列を含むタグ応答信号520を送信するよう命令するものである。インテロゲータがこのタグ応答信号（例えば401）を受信した後、インテロゲータはダウンリンク信号730を送信してプロセスを再開することができる。

【0034】〔周波数分割多元接続（FDMA）〕上記のTDMA法では、時間はタイムスロットのセットに分割され、タグ応答（例えば301）はさまざまなタイムスロットで送信される。この問題に対するもう1つの方法は、タグ102が、異なる周波数を用いてダウンリンク信号103に応答することである。MBSを用いると、これは図8のように実現される。インテロゲータ101は、ダウンリンク信号103を送信した後、読取りフィールド内のタグ102へCW信号104を送信する。図8で、CW信号104をRF周波数 f_1 で表す。図8において、アップリンク周波数は $(f_1 + f_2)$ 、 $(f_1 + f_3)$ 、または $(f_1 + f_4)$ のいずれかの周波数で示される。周波数 f_2 、 f_3 、または f_4 は、サブキャリア周波数といい、周波数 f_1 におけるRFのCW信号104からのオフセットを表す。図9は、複数のアップリンク周波数を合成することが可能なタグ102のブロック図である。以下で、いかにしてサブキャリア周波数 f_2 、 f_3 、または f_4 を生成することができるかを説明する。周波数合成器906は、1つ以上のサブキャリア908周波数を合成する一般的な方法を例示している。単一の周波数源と、プログラム制御可能分割回路またはPLLベースの周波数合成器とが与えられた場合、周波数合成器906は、プロセッサ905の制御下で、複数のサブキャリア908周波数を合成することが可能となる。すなわち、この方法によりサブキャリア周波数 f_2 、 f_3 、および f_4 を合成することが可能となる。

【0035】タグ102は、おそらくはランダムに、いずれのサブキャリア908周波数を使用すべきかを決定する。あるいは、ダウンリンク信号103が、おそらく

はさらに「モード」パラメータ（205など）を用いて、いずれのアップリンクサブキャリア周波数を用いるべきかに関してタグ102に指令する情報を含むことも可能である。タグ102が、使用すべきサブキャリア周波数を決定すると、検波器・変調器902は（例えば）タグ1応答（401）をインテロゲータへ返送することができる。いくつかの従来の変調方式のうちの任意のものがこの伝送を実行するために使用可能である。例えば、サブキャリア908周波数は、一度選択されると「キャリア」として用いられ、タグ1応答（301）に含まれるデータは、データ変調器907によってそのサブキャリア周波数上に変調することが可能である。この変調は、一般に位相シフトキーイング（PSK）を用いるが、他の変調方式も使用可能である。従って、タグ102は、（可能性のある）任意個数のサブキャリア周波数（上記の3つのサブキャリア周波数は単なる一実施例である）のうちの1つを用い、実際のデータのPSK変調を用いて、そのアップリンク信号を送信することが可能である。

【0036】読取りフィールド内に一度に複数のタグ102を許容するためには、タグ102は、例えば、利用可能なサブキャリア周波数のうちの1つをランダムに選択し、アップリンク信号105を送信する。あるいは、タグ102は、ここで説明するFDMA法と、上記のTDMA PAMA法の組合せを用いることも可能である。例えば、タグ102は、次の（モード2）利用可能なタイムスロットのうちの（モード1）タイムスロットにおいてアップリンク信号105で応答し、用いるべきタイムスロットはランダムに選択し、用いるべきサブキャリア周波数もランダムに選択するように指令されることが可能である。このようにして、追加の自由度が与えられることにより、より多くのタグ102が読取りフィールド内に同時に存在してしかも信頼性良く識別されることが可能となる。もう1つの代替例として、タグ102は、上記のTDMA PAMA法を用いて識別されることも可能である。その場合、個々のタグ102は、相異なるアップリンクサブキャリアを用いたアドレスタグ応答704で応用するように指令されることにより、複数のタグ102が、同時にアドレスタグ応答704で応答することが可能となる。

【0037】上記の方式の具体例は以下のとおりである。インテロゲータ101は、読取りフィールド内のすべてのタグ102へダウンリンク信号410を送信する。タグ102は、上記のPAMAを用いて応答する。すべてのタグ102が、同じサブキャリア908周波数を用いて応答する。これは、タグ102のファームウェア内に永久的に組み込むことも可能であり、あるいは、例えば、タグ102はインテロゲータ101から、ダウンリンク信号410内で受け取るオペコード202によって同じサブキャリア908周波数ですべて応答するよ

うに命令されることも可能である。その後、インテロゲータ101は、タグ応答(401、402など)内に含まれる情報に基づいて、読取りフィールド内の特定のタグ(102-1)からデータを要求しようと決めることができる。次に、インテロゲータ101は、もう1つのダウンリンク信号710(そのオペコード202はすべてのタグ102に対して「リスン」するよう命令する)を送信し、その後、特定のタグ102-1に対して、特定のデータのセットをインテロゲータ101に返送するよう命令するタグアドレス701およびタグコマンド702を送信する。次に、インテロゲータ101はもう1つのダウンリンク信号720を送信する。このダウンリンク信号720のオペコード202は、タグアドレス701で送信されたIDと一致するIDを有する特定のタグ102-1に対して、アドレスタグ応答704(詳細は図6のC参照)により応答するよう命令するとともに、読取りフィールド内の他のすべてのタグ102に対して、タグN応答(401など)メッセージにより「通常の」PAMAを用いて応答するよう命令する。しかし、アドレスタグ応答704は、「通常の」PAMAタグN応答(401など)で用いられたのとは異なるサブキャリア周波数を用いて送信されることもある。タグ102-1が特定のサブキャリア908周波数を使用するという事実は、そのタグに永久的に組み込まれることも可能であり、あるいは、タグコマンド702またはタグデータ703に含まれる情報を通じてインテロゲータによってそのように命令されることも可能である。このようにして、インテロゲータは、比較的制約されずに、1つのサブキャリア908周波数を用いてタグ102-1以外のタグ102からアップリンク信号105(タグN応答(401など))を受信するとともに、別のサブキャリア908周波数上でタグ102-1からデータ(アドレスタグ応答704)を受信することを継続することができる。

【0038】上記の場合、サブキャリア908周波数の選択は注意深く行わなければならない。米国特許出願第08/504,188号には、MBSシステムではさまざまな機械的および電子的機器からの反射が変調されることが記載されている。従って、一般に、サブキャリア908周波数は、このようなノイズを避けるほど十分に大きく(少なくとも10kHz以上、好ましくは100kHz以上、理想的には500kHz以上)なければならない。さらに、複数のタグが異なるサブキャリア908周波数で同時に応答している場合、それらの異なる周波数は、データ帯域幅が互いに干渉することなく伝送されるように、十分に分離されなければならない。

【0039】インテロゲータが異なるサブキャリア908周波数で受信する応答を復調することは、インテロゲータの設計を幾分複雑にするが、実際にはそれは困難ではない。A/Dコンバータおよびデジタル信号処理

(DSP)技術を用いて、インテロゲータ101において復調された信号をサンプリングすることができる。このA/Dコンバータは、タグ102がサポートすることができる最も高いサブキャリア908周波数をサポートするのに十分な高さのサンプリングレートを有する。また、DSPは、フーリエ解析を実行して、複数のサブキャリア周波数からデータを復元する。

【0040】[符号分割多元接続(CDMA)]CDMAは、ダウンリンクおよびアップリンクの両方に適用される直接スペクトラム拡散(DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum))変調を用いた多元接続プロトコルである。各「移動機」(今の場合はタグ102)には固有の拡散符号が割り当てられる。これにより、移動機および基地局は、その固有の拡散符号を用いて着信信号を脱相関することによって移動機からの通信を区別することが可能となる。CDMAは、実行しなければならない脱相関動作と、複雑なタイミングおよびパワー管理の問題のために、通常、複雑な多元接続プロトコルであると考えられている。

【0041】まず、変調方式としての直接スペクトラム拡散(DSSS)の使用と、多元接続方式としてのCDMAの使用を区別すべきである。CDMAを使用しない場合でも、DSSSを使用することはRFIDアプリケーションに有益なことがある。例えば、ダウンリンク信号103またはアップリンク信号105のいずれかを拡散する(すなわち、DSSS変調を用いる)ことは有益なことがある。ノイズがダウンリンク信号103またはアップリンク信号105の長さに比べて短時間であるという意味で、ノイズ/干渉環境が「バースト的」であることがある。また、マルチパス環境は、ダウンリンク信号103またはアップリンク信号105の長さに比べて時間幅の短い、深いヌルがあるようなものであることがある。いずれの場合にも、DSSS変調は、十分な処理利得があることを仮定すれば、この種のノイズやマルチパスに対処する際に有益となる可能性がある。ノイズが広帯域である場合、あるいは、ガウシアン特性を有する場合には、DSSSが有益となる可能性は少ない。

【0042】次に、どのようにしてCDMAをRFIDシステムに適用するかを考える。ダウンリンクにおいて、互いの範囲内にあるすべてのインテロゲータが時間的に同期して同じ情報を送信しているような(あるいは、同じことであるが、それらの信号が独立になるようにそれらのインテロゲータが空間的に十分離れているような)RFIDシステム実装について考える。この場合、ダウンリンクにおけるCDMAの使用は、本質的に、ダウンリンクにおけるDSSS変調を使用することと同じである。これが有益となる条件については既に説明した。このアプローチの1つの欠点は、タグ102が拡散ダウンリンクメッセージからダウンリンク信号103データを取得するために脱相関機能を実行しなければ

ならないことである。この場合、タグ102内のプロセッサ905は、ダウンリンク信号103の実際のデータレートの（拡散符号の長さ）倍速く動作しなければならない。プロセッサ905の動作が速くなるほど、プロセッサが消費するパワーは大きくなり、タグ102（これは一般に取り替え不能な小さい電池を有する）の寿命が短くなる。

【0043】アップリンクでCDMAを用いるには、別々のDSSS拡散符号を別々のタグに割り当てる。この場合、アップリンクに対するCDMAの利点は、複数のタグ102がアップリンク信号105を同時に送信することができることである。これの実装は複雑ではない。例えば、タグ102内のプロセッサ905が4MHzの固定周波数クロックで動作すると仮定する。その場合、プロセッサ905は、ソフトウェアを用いて、おそらくは1MHz程度のサブキャリアを生成することができる。ただし、最大周波数のサブキャリアは、プロセッサアーキテクチャおよび命令セットに依存する。あるいは、サブキャリア周波数は、水晶発振器および分周器回路を用いたハードウェアで合成することも可能である。この方法により、プロセッサ905でソフトウェアを用いた場合よりも高いサブキャリア周波数を生成することが可能となる。上記の方法を用いて、サブキャリアを、その上で拡散符号が変調されるキャリアとして使用して拡散サブキャリアを形成し、アップリンク信号105のデータをこの拡散サブキャリア上で変調することが可能となる。そして、インテロゲータは、この場合に用いられている拡散符号に対する脱変調を実行することになる。すべてのアップリンク信号105にCDMAを用いる場合、インテロゲータはいずれのタグが読み取りフィールド内にあるかを事前には知らないで、すべての可能な拡散符号に対する脱相関（これは、使用される拡散符号の数に依存して、複雑な作業となる可能性がある）を実行しなければならない。使用される拡散符号の長さ、従って、達成される「符号化利得」の大きさは、タグ102が発生することができる最大符号化サブキャリア（上記の例では1MHz）と、アップリンク信号105のデータレートの比に基づく。例えば、アップリンク信号105のデータレートが10kbp/sである場合、拡散符号の長さはほぼ100となり、処理利得は約19dBとなる。

【0044】アップリンク信号105でCDMAを実装するには、タグ102に拡散符号を割り当てる。あるいは、タグ102は、ダウンリンク信号103を受信するときにランダムに符号を選択することも可能である。次に、タグ102は、PAMAの場合に既に説明したように、タグ応答401により応答する。この場合、特定のタグのタグ応答401は特定の拡散符号を用いる。タグ応答401の実際のデータレートは不変であることもあるため、上記のように完了するのに1タイムスロットか

かる応答は、CDMAアップリンクの場合にも完了するのに同じ1タイムスロットを要することになる。しかし、複数のタグが1タイムスロット中に肯定応答することになる。

【0045】インテロゲータ101における脱相関の複雑さを扱いやすいレベルに保つために、使用されるアップリンク拡散符号の総数を、タグ102の総数以内に制限する必要がある場合がある。この場合、タグ102は、例えば、タグ初期化時にまたはダウンリンク信号103を受信したときに、ランダムに拡散符号を選択することが可能である。しかし、このことは、複数のタグが同じ直接拡散符号を用いて同時に応答する可能性があることを意味し、その場合には、インテロゲータは信号を脱相関することができない。その場合、アップリンク信号に対するCDMAの使用を、上記のTDMA PAMA方式と組み合わせると有益なことがある。概念的には、これは、上記のようなFDMAとTDMA PAMAを組み合わせることと同じである。PAMA方式は上記のように機能するが、タグ応答401はランダムに選択された拡散符号を用いて拡散される。これにより、複数のタグが同時に読み取りフィールド内にありながらも識別されることが可能となる。あるいは、同数のタグ102が読み取りフィールド内にありながら、（タイムスロットと符号化空間を引き替えているので）それより少ないタイムスロット数でそれらのタグを識別することが可能となる。タグの数、符号化の量などに基づくその他の置き換えも明らかである。

【0046】「アップリンクパワー制御」無線通信システム、特にCDMA方式における重要な問題の1つは、移動機のパワー制御である。この問題は基本的に、古典的な「遠近」問題である。すなわち、基地局に近い移動機は、基地局から遠い移動機よりもずっと大きいパワーレベルで移動機によって聴取される。あるCDMA方式では、基地局が、複数の移動機からの戻り信号の強度を監視し、受信した信号の強い移動機に対してその移動機の送信パワーを所定のしきい値まで下げるように命令するというパワー制御システムを用いている。ただし、このしきい値は、所望の信号対ノイズ比を達成するのに必要な最小パワーであるように決定される。変調散乱方式では、着信CW信号104がタグ102によって受信され、タグ102は、変調反射を用いて、そのCW信号を変調し反射する。変調反射はパワー制御の機構を有しないように思われる。

【0047】図9の検波器・変調器902の1つの可能な実装は、検波器としてとともに変調器としても単一のマイクロ波ダイオードを用いるものである。図10に、検波器および変調器としての単一のダイオードの1つの可能な実施例を示す。この実装では、ダイオードは、変調電流1030に応じて、変調電流1030の大きさに基づく「開」、「整合」、および「短絡」という3つの

状態を有する。（注意すべき点であるが、ダイオード 1020 の検波器としての正しい動作に変調電流 1030 が不要なゼロバイアスショットキーダイオードのようなダイオードのクラスが存在する。）ダイオード 1020 の「状態」は、アンテナ 1010 の反射係数に影響を与える。「短絡」状態を達成するのに必要な変調電流 1030 を i_1 と仮定する。その場合、 i_1 より小さい変調電流 1030 を用いると、MBS 通信を行うことは可能であるが、タグ 102 がリンクバジェットに挿入する「損失」が i_1 の減少とともに増大するという意味で通信は劣化する。 i_1 の減少は実質的にアンテナの反射係数の減少を引き起こし、従って、反射される信号（反射信号）の量を減少させる。従って、タグ 102 において、変調ダイオード 1020 に加えられる変調電流 1030 の大きさを動的に変化させることを可能にすることにより、インテロゲータ 101 における反射信号の受信信号強度を縮小することができる。

【0048】上記のことから明らかなように、ここで適用している一般的方法は、アンテナ901と検波器・変調器902の間のインピーダンス整合を電子的に「離調」させることである。この「離調」により、反射信号の信号強度は、アンテナ901の反射係数を減少させることによって、減少させることができる。902の変調器要素がダイオードではなく例えばFETやさらに複雑な回路であっても、同じ原理を適用することができる。

【0049】また、明らかなように、上記の方法は、上記のTDMA、FDMA、またはCDMAのいずれの方法にも適用可能である。

【0050】「可変アップリンクデータレート」上記の説明では、アップリンク信号105のデータレートが一定であることを暗黙に仮定している。ダウンリンク信号103が、タグ102に対して、アップリンク信号105のデータレートを変更するよう命令することが可能である。例えば、図9に基づく実施例を考える。この実施例では、周波数合成器906が、サブキャリア908を生成するために用いられる。このサブキャリア908は、その上でデータがデータ変調器907によって変調される「キャリア」として用いられる。注意すべき点であるが、データを伝送するために十分な帯域幅が存在するようにサブキャリア908周波数が十分に大きくなければならないということ、および、ノイズを最小にするようにサブキャリア908周波数がCW信号104から十分に離れているということを除いては、データ変調器907によって変調されるデータのデータレートは、特定のサブキャリア908周波数とは関係がない。

【0051】従って、インテロゲータ101は、タグ102に対して、アップリンク信号105のデータレートを変更するよう命令することが可能となる。この命令は、図2のオペコード(202)およびモード(203、204など)のパラメータを用いて行うことができ

注意すべき点であるが、タグは、上記のようにサブキャリア908がこのデータレートをサポートするのに十分に大きいものである限り、実際のサブキャリア908周波数を変更する必要はない。これは、インテロゲータ101の設計において非常に有益である。図11のインテロゲータの実施例を考える。無線信号源1101は、送信アンテナ1102を通じてダウンリンク103およびCW信号104を送信する。アップリンク信号105は受信アンテナ1103によって受信され、オプションとして増幅およびフィルタリング（図示せず）され、ホモダイン受信器1104（代表的にはI&Q復調器）へ送られる。ホモダイン受信器1104の出力はサブキャリア信号1107であり、これは、理論的には、図9のサブキャリア信号909と（通常の無線パス歪み、ノイズなどを除いては）同じ信号である。次に、このサブキャリア信号1107はサブキャリア復調器1105（代表的にはデジタル信号プロセッサ（DSP））に送られる。注意すべき点であるが、受信アンテナ1103の後のフィルタリングおよび増幅は、アップリンク信号105のデータレートには依存しない。サブキャリア復調器1105において、データレートの変化は容易にサポートされる。サブキャリア908周波数が増えたり減ったりする場合、あるいは、ほとんど変更されない場合、アップリンク信号105のデータレートを変更する機能を実装することは困難ではない。実際には、このような機能は、サブキャリア908周波数が増えたり減ったりする場合でも可能である。しかし、そのような実装は、サブキャリア908周波数が増えたり減ったりする場合よりも困難となる。サブキャリア復調器1105がDSPである場合には、この機能の実装は直接的となる。

【0052】この機能を利用する1つの可能な方法は以下の通りである。インテロゲータ101は、アップリンク信号105の信号品質および誤り特性を監視することができる。アップリンク信号105が許容できない信号対ノイズ比で受信されているが、衝突(図3参照)の証拠がない場合、インテロゲータがとる合理的な動作は、読取りフィールド内のタグに対して、アップリンク信号105のデータレートを小さくするよう命令することである。これにより、受信されるアップリンク信号105の「ビットあたりのエネルギー」が増大することになる。上記のように、サブキャリア復調器1105としてDSPを用いると、インテロゲータ101はそのDSP内でノイズ帯域幅を減少させることも可能である。また、注意すべき点であるが、アップリンク信号105のデータレートを動的に変更する方法は、上記の3つの多元接続方法すなわちTDMA、FDMA、およびCDMAのいずれにも適用可能である。

【0053】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明によれば、MBS方式によるインテロゲータとタグの間の通信におい

て、インテロゲータの読取り領域に複数のタグが存在するときに、複数のタグが独立にかつ同時に応答する場合にもMBSシステムが正しく動作する。

【図面の簡単な説明】

【図1】無線周波数識別(RFID)システムのブロック図である。

【図2】図1のRFIDシステムで使用される。ダウンリンク信号内に含まれるさまざまなフィールドの一実施例の図である。

【図3】図1のRFIDシステムの従来の実装で使用されるタイムスロット系列の図である。

【図4】図1のRFIDシステムで使用される多重アロハ多元接続(Poly Aloha Multiple Access, PAMA)法の図である。

【図5】特定のタグがコマンドあるいはデータを送る場合の、図4のPAMA法の図である。

【図6】タグ応答のさまざまな形式を例示する、図4のPAMA法の図である。

【図7】図4のPAMA構造体全体に図6のタグ応答をどのように当てはめるかを例示する、図4のPAMA法の図である。

【図8】図1のアップリンク信号で使用される複数のアップリンク周波数の関係を示す図である。

【図9】図1のリモートタグの一実施例の図である。

【図10】図9の検波器・変調器の一実施例の図である。

【図11】図1のインテロゲータの一実施例の図である。

【符号の説明】

101 インテロゲータ

102 タグ

103 ダウンリンク信号

104 CW信号

105 アップリンク信号

201 同期フィールド

202 オペコード

203 モード1インジケータ

204 モード2インジケータ

205 モードインジケータ

301 タグ1応答

302 タグ2応答

303 タグ3応答

304 タグ4応答

401 タグ1応答

402 タグ2応答

403 タグ1応答

404 タグ2応答

410 ダウンリンク信号

411 CW信号

420 ダウンリンク信号

421 CW信号

430 ダウンリンク信号

501 タグアドレス

502 タグコマンド

503 タグデータ

510 ダウンリンク信号

520 ダウンリンク信号

601 同期信号

602 タグID

603 オプションのデータ

604 タグAck

605 タグデータ

606 誤り検出・訂正

701 タグアドレス

702 タグコマンド

703 タグデータ

704 アドレスタグ応答

710 ダウンリンク信号

720 ダウンリンク信号

730 ダウンリンク信号

901 アンテナ

902 検波器・変調器

903 増幅器

904 クロック回復

905 プロセッサ

906 周波数合成器

907 データ変調器

908 サブキャリア

909 サブキャリア信号

1010 アンテナ

1020 変調ダイオード

1030 変調電流

1101 無線信号源

1102 送信アンテナ

1103 受信アンテナ

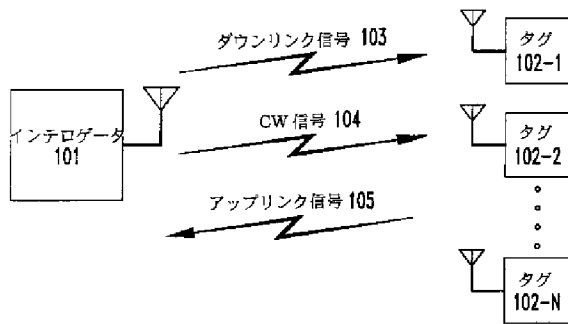
1104 ホモダイン受信器

1105 サブキャリア復調器

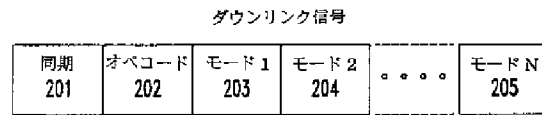
1106 アップリンク情報信号

1107 サブキャリア信号

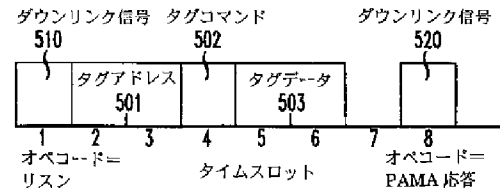
【図1】



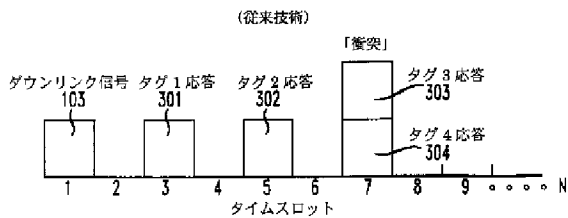
【図2】



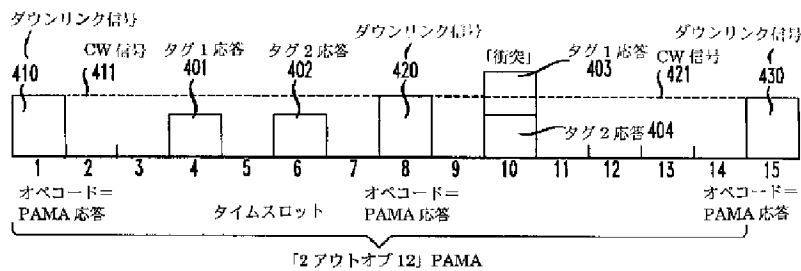
【図5】



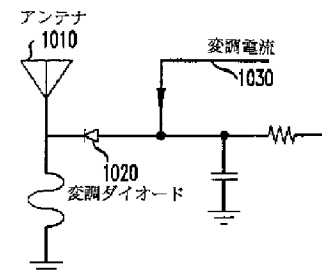
【図3】



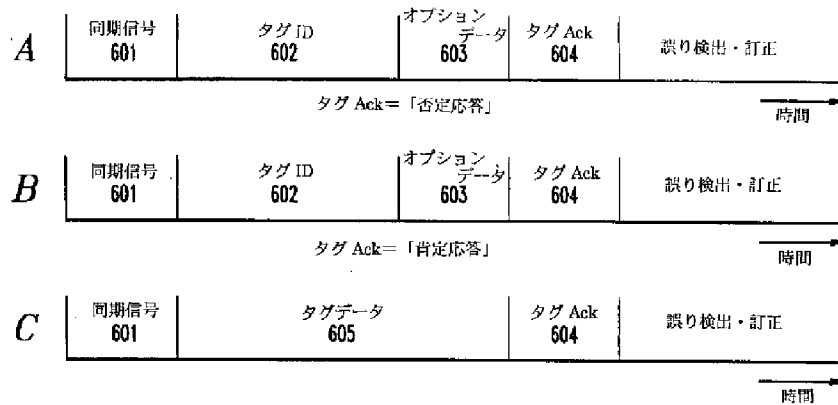
【図4】



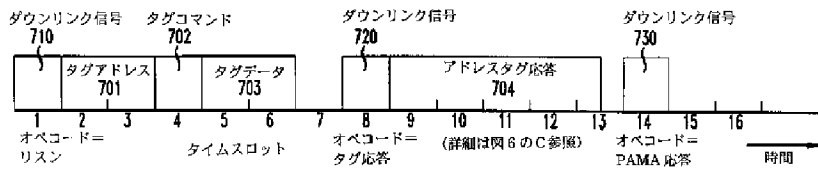
【図10】



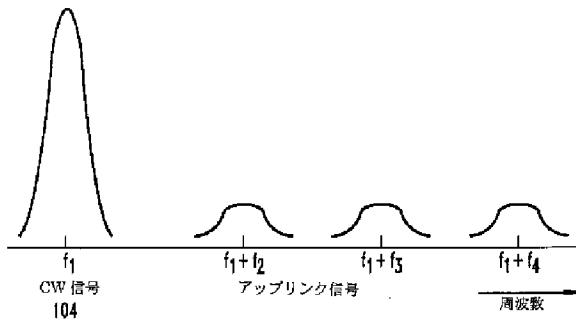
【図6】



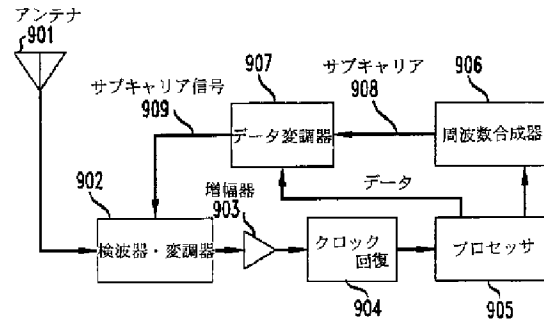
【図7】



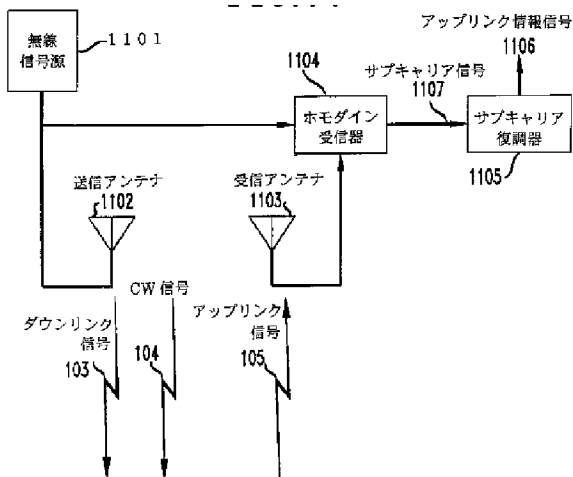
【図8】



【図9】



【図11】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259
600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 アール. アンソニー ショバー
アメリカ合衆国, 07701 ニュージャージ
ー, レッド パンク, マンニー ウェイ
29

(72)発明者 ジョヴァンニ ヴァンヌッチ
アメリカ合衆国, 07701 ニュージャージ
ー, レッド パンク, ラトレッジ ドライ
ブ 329

【外国語明細書】

1. Title of Invention

ENHANCED UPLINK MODULATED BACKSCATTER SYSTEM

2. Claims
1. A radio communication system comprising
an interrogator including
means to generate a first radio signal,
means to transmit said first radio signal to at least one tag;
said at least one tag including
means to receive said first radio signal, and
means to generate a second modulated signal by modulating a
second information signal onto a radio carrier signal,
means to divide time into a series of time slots, where said
time slots may or may not be of equal length, and
means to transmit a certain number of repetitions of said
second modulated signal within a certain number of said time slots following the
reception of said first radio signal, where said certain number of repetitions is
less than said certain number of time slots;
said interrogator further including
means to receive said second modulated signal, and
means to demodulate said second modulated signal to obtain
said second information signal.
 2. The radio communication system of claim 1 wherein said
interrogator generates a CW signal following said first radio signal and said at
least one tag generates said second modulated signal utilizing modulated
backscatter of said CW signal.
 3. The radio communication system of claim 2 wherein said
interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.
 4. The radio communication system of claim 1 wherein said
means to modulate said second information signal onto said radio carrier signal
utilizes phase shift keying.
 5. The radio communication system of claim 1 wherein
said interrogator includes
means to generate said first radio signal by modulating a first
information signal onto a radio carrier signal, where said first information signal
contains at least an operations code, and

said at least one tag contains

means to demodulate said first information signal from said first radio signal, and

means to determine said operations code from said first information signal.

6. The radio communications system of claim 3 wherein said interrogator includes

means to include at least one parameter, designated "Mode 1", in said first information signal; and

said at least one tag includes

means to decode the contents of said "Mode 1" parameter from said first information signal, and

means to use the contents of "Mode 1" to determine how many of said repetitions of said second modulated signal to transmit.

7. The radio communication system of claim 6 wherein said interrogator further includes

means to monitor communications performance of said second modulated signals, and

means to dynamically adjust said "Mode 1" parameter based upon said communications performance of said second modulated signals.

8. The radio communications system of claim 5 wherein said interrogator includes

means to include at least one parameter, designated "Mode 2", in said first information signal; and

said at least one tag includes

means to decode the contents of said "Mode 2" parameter from said first information signal, and

means to use the contents of "Mode 2" to determine how many of said time slots, following receipt of said first radio signal, said certain number of repetitions of said second modulated signal should be transmitted within.

9. The radio communication system of claim 8 wherein said interrogator further includes

means to monitor communications performance of said second modulated signals, and

means to dynamically adjust said "Mode 2" parameter based upon said communications performance of said second modulated signals.

10. The radio communications system of claim 5 wherein said interrogator includes

means to include at least two additional parameters, designated "Mode 1" and "Mode 2", in said first information signal; and

said tag includes

means to decode the contents of said "Mode 1" and said "Mode 2" parameters from said first information signal, and

means to use the contents of "Mode 1" to determine the number of said repetitions to use, and to use the contents of "Mode 2" to determine how many of said time slots, following receipt of said first radio signal, said number of said repetitions of said second modulated signal should be transmitted within.

11. The radio communication system of claim 10 wherein said interrogator further includes

means to monitor communications performance of said second modulated signals, and

means to dynamically adjust said "Mode 1" and said "Mode 2" parameters based upon said communications performance of said second modulated signals.

12. The radio communication system of claim 1 wherein said interrogator has means to repetitively transmit said first radio signal.

13. The radio communication system of claim 5 wherein said interrogator includes means to repetitively transmit said first radio signal.

14. The radio communications system of claim 5 wherein said at least one tag includes

means to include within said second information signal at least a unique identification field for said at least one tag and optionally including a Synchronization Field, optionally including additional Data, optionally including a Tag Ack Field, and optionally including an Error Detect and/or Correct Field, and

means to transmit said second information signal upon receiving said operations code designated "PAMA Respond".

15. The radio communications system of claim 5 wherein said at least one tag includes means to not transmit any of said second modulated signals upon receiving said operations code designated "Listen".

16. The radio communications system of claim 5 wherein said interrogator includes

means to generate a third information signal, containing at least a Tag Address, a Tag Command, and optionally Tag Data,

means to generate a third modulated signal by modulating said third information signal onto a radio carrier signal, and

means to transmit said third modulated signal to said at least one tag; and

said tag includes

means to receive said third modulated signal,

means to demodulate said third information signal from said third modulated signal, and

means to decode said third information signal.

17. The radio communications system of claim 16 wherein said at least one tag includes

means to examine the contents of said Tag Address and said Tag Command,

means, responsive to the results of said examination, to determine if said at least one tag is addressed, and

means to determine if said Tag Command has been properly executed.

18. The radio communications system of claim 16 wherein

said interrogator includes means to transmit said first radio signal to said at least one tag following the transmission of said third modulated signal.

19. The radio communications system of claim 18 wherein said at least one tag includes

means to generate a fourth information signal, which includes Tag Data, and optionally includes a Synchronization Field, optionally includes a Tag Ack Field, and optionally includes an Error Detect and/or Correct Field,

means to generate a fourth modulated signal by modulating said fourth information signal onto a radio carrier signal,

means to transmit said fourth modulated signal only if said operations code contained within said first information signal is "Tag Respond" and if said at least one tag is an addressed tag, and

means to not transmit said fourth modulated signal if said at least one tag is not an addressed tag; and

said interrogator has

means to receive said fourth modulated signal, and

means to demodulate said fourth information signal from said fourth modulated signal.

20. The radio communications system of claim 18 wherein

said at least one tag includes

means to generate said second information signal, contained within said second modulated signal, which contains "Positive Acknowledgment" in said Tag Ack field, and

means to transmit said second modulated signal if said operations code contained within said first information signal is "PAMA Respond", and if said at least one tag is an addressed tag, and if said Tag Command has been properly executed.

21. The radio communications system of claim 18 wherein

said at least one tag includes

means to generate said second information signal, contained within said second modulated signal, which contains a "Negative Acknowledgment" field in said Tag Ack field, and

means to transmit said second modulated signal if said operations code contained within said first information signal is "PAMA Respond", and if said at least one tag is either not addressed or properly executed.

22. The radio communications system of claim 17 wherein said interrogator includes

means to include the command "Quiet" within said Tag Command; and

said at least one tag includes

means to make no further transmissions upon receiving said command "Quiet" within said Tag Command, and

means to resume said transmissions of said second modulated signal upon reception of said first radio signal where said Operations Code contained within said first information signal contained within said first radio signal contains the command "Clear, PAMA Respond".

23. The radio communications system of claim 19 wherein said Tag Data includes means to include the time slot numbers being used to transmit said second modulated signal by said at least one tag.

24. The radio communication system of claim 19 wherein at said at least one tag the means for modulating said second or fourth modulated signals onto said radio carrier signal utilizes modulated backscatter of a CW signal provided by said interrogator.

25. The radio communication system of claim 24 wherein said interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

26. The radio communication system of claim 20 wherein at said at least one tag the means for modulating said second or fourth modulated signals onto said radio carrier signal utilizes modulated backscatter of a CW signal provided by said interrogator.

27. The radio communication system of claim 26 wherein said interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

28. The radio communication system of claim 21 wherein at said at least one the means for modulating said second or fourth modulated signals onto said radio carrier signal utilizes modulated backscatter of a CW signal provided by said interrogator.

29. The radio communication system of claim 28 wherein said interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

30. A radio communication system comprising
an interrogator including means to transmit a first radio signal to
at least one tag;

said at least one tag including

means to receive said first radio signal,

means to generate one of a set of subcarriers,

means to select a particular subcarrier from said set of
subcarriers,

means to generate a modulated subcarrier by modulating a
second information signal onto said particular subcarrier,

means to generate a second modulated signal by modulating
said modulated subcarrier onto a radio carrier signal, by using modulated
backscatter, and

means to transmit said second modulated signal; and

said interrogator further including

means to demodulate said second modulated signal, to obtain
said second information signal.

31. The radio communication system of claim 30 wherein said
interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

32. The radio communication system of claim 30 wherein
said interrogator further includes

means to generate said first radio signal by modulating a first
information signal onto a radio carrier signal, and

means to transmit said first radio signal to at least one tag;
and

said at least one tag further includes

means to receive said first radio signal,

means to demodulate said first information signal from said
first radio signal, and

means to decode said first information signal.

33. The radio communication system of claim 32 wherein said at least one tag further includes means to perform said selection of said particular subcarrier based upon contents of said first information signal.

34. The radio communication system of claim 30 wherein said interrogator means to demodulate said second modulated signal includes a digital signal processor.

35. A radio communication system comprising
an interrogator including
 means to generate a first radio signal,
 means to transmit said first radio signal to at least one tag,
and
 means to divide time into a series of time slots, where said time slots may or may not be of equal length;
said at least one tag including
 means to receive said first radio signal,
 means to create one of a set of subcarriers,
 means to select a particular subcarrier from said set of subcarriers,
 means to generate a modulated subcarrier by modulating a second information signal onto said particular subcarrier,
 means to generate a second modulated signal by modulating said modulated subcarrier onto a radio carrier signal, by using modulated backscatter,
 means to divide time into a series of time slots, where said time slots may or may not be of equal length, and
 means to transmit a certain number of repetitions of said second modulated signal within a certain number of said time slots following the reception of said first radio signal, where said certain number of repetitions is less than said certain number of time slots; and
said interrogator further including
 means to receive said second modulated signal, and
 means to demodulate said second modulated signal to obtain said second information signal.

36. The radio communication system of claim 35 wherein said interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

37. The radio communication system of claim 35 wherein
said interrogator includes
 means to generate said first radio signal by modulating a first
information signal onto a radio carrier signal; and
 said at least one tag includes
 means to demodulate said first information signal from said
first radio signal, and
 means to perform said selection of said subcarrier based upon
contents of said first information signal.
38. The radio communication system of claim 35 wherein said
interrogator demodulation means includes a digital signal processor.
39. A radio communication system comprising
an interrogator including means to transmit a first radio signal to
at least one tag;
 said at least one tag including
 means to receive said first radio signal,
 means to create one of a set of spreading codes,
 means to select a particular spreading code from said set of
spreading codes,
 means to generate a spread information signal by modulating
a second information signal onto said particular spreading code,
 means to generate a second modulated signal by modulating
said spread information signal onto a radio carrier signal portion of said first
radio signal, by using modulated backscatter, and
 means to transmit said second modulated signal; and
said interrogator further including
 means to receive said second modulated signal, and
 means to demodulate said second modulated signal to obtain
said second information signal.
40. The radio communication system of claim 39 wherein
said interrogator further includes
 means to generate said first radio signal by modulating a first
information signal onto a radio carrier signal; and
said at least one tag further includes

means to demodulate said first information signal from said first radio signal,

means to decode said first information signal, and

means to perform said selection of said particular spreading code based upon the contents of said first information signal.

41. The radio communication system of claim 39 wherein said interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

42. The radio communication system of claim 39 wherein said at least one tag includes means to change the reflection coefficient of the antenna.

43. The radio communication system of claim 42 wherein said means to change said reflection coefficient of said antenna includes means to vary the amount of modulation current through a diode modulator.

44. A radio communication system comprising
an interrogator including means to transmit a first radio signal to at least one tag;

said at least one tag including

means to receive said first radio signal,

means to create one of a set of spreading codes,

means to select a particular spreading code from said set of spreading codes,

means to generate a spread information signal by modulating a second information signal onto said particular spreading code,

means to generate a second modulated signal by modulating said spread information signal onto a radio carrier signal, by using modulated backscatter,

means to divide time into a series of time slots, where said time slots may or may not be of equal length, and

means to transmit a certain number of repetitions of said second modulated signal within a certain number of said time slots following the reception of said first radio signal, where said certain number of repetitions is less than said certain number of time slots; and

said interrogator further including

means to receive said second modulated signal, and

means to demodulate said second modulated signal to obtain said second information signal.

45. The radio communication system of claim 44 wherein said interrogator includes means to generate said first radio signal by modulating a first information signal onto a radio carrier signal; and said at least one tag further includes means to demodulate said first information signal from said first radio signal, means to decode said first information signal, and means to perform said selection of said particular spreading code based upon the contents of said first information signal.

46. The radio communication system of claim 44 wherein said interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

47. The radio communication system of claim 44 wherein said interrogator demodulation means includes a digital signal processor.

48. A radio communication system comprising an interrogator including means to generate a first radio signal, and means to transmit said first radio signal to at least one tag; said at least one tag including means to receive said first radio signal, means to generate a second modulated signal, by the use of modulated backscatter, by modulating a second information signal onto a radio carrier signal portion of said first radio signal, means to change the reflection coefficient of the antenna contained within said at least one tag, and means to transmit said second modulated signal; and said interrogator further including means to receive said second modulated signal.

49. The radio communication system of claim 48 wherein said means to change said reflection coefficient of said antenna includes means to vary the amount of modulation current through a diode modulator.

50. The radio communication system of claim 48 wherein said interrogator includes means to demodulate said second information signal from said second modulated signal, and said demodulating means utilizes homodyne detection.

51. The radio communication system of claim 48 wherein said interrogator includes means to generate said first radio signal by modulating a first information signal onto a radio carrier signal; and said at least one tag includes
means to demodulate said first information signal from said first radio signal,
means to decode the contents of said first information signal,
and
means to change said reflection coefficient of said antenna based upon the contents of said first information signal.

52. A radio communication system comprising
an interrogator including
means to generate a first radio signal by modulating a first information signal onto a radio carrier signal, and
means to transmit said first radio signal to at least one tag,
said at least one tag including
means to receive said first radio signal,
means to demodulate said first information signal from said first radio signal,
means to decode said first information signal to obtain at least an operations code, and optionally including one or more additional parameters,
means to determine the contents of said operations code, and optionally to determine the contents of said one or more additional parameters,
means to generate a second information signal,
means to generate a second modulated signal by modulating said second information signal onto a radio carrier signal, using modulated backscatter, with the data rate of said second information signal being determined by said contents of said operations code, or by said contents of said one or more additional parameters, or by both, and
means to transmit said second modulated signal; and
said interrogator further including

means to demodulate said second modulated signal to obtain said second information signal.

53. The radio communication system of claim 52 wherein said interrogator demodulating means utilizes homodyne detection.

54. The radio communication system of claim 52 wherein said means to demodulate said second modulated signal includes a digital signal processor.

55. A radio communication tag comprising
receiver means to receive an interrogator radio signal and
transmitter means to transmit a modulated radio signal, modulated with tag information, a certain number of times within a predetermined period of time following the reception of said received radio signal.

3. Detailed Description of Invention

Related Applications

Related subject matter is disclosed in the following applications: U.S. patent application Ser. No. 08/504,188, entitled "Modulated Backscatter Wireless Communication System Having an Extended Range," inventors James G. Evans, R. Anthony Shober, Giovanni Vannucci, and Steven A. Wilkus; U.S. patent application Ser. No. 08/492,174, entitled "Full Duplex Modulated Backscatter System," inventors John A. MacLellan, R. Anthony Shober, Giovanni Vannucci, and Gregory A. Wright; and U.S. patent application Ser. No. 08/492,173, entitled "Dual Mode Modulated Backscatter System," inventors R. Anthony Shober, Giovanni Vannucci, and Gregory A. Wright.

Field of the Invention

This invention relates to wireless communication systems and, more particularly, to a wireless communication system using modulated backscatter technology.

Background of the Invention

Radio Frequency Identification (RFID) systems are used for identification and/or tracking of equipment, inventory, or living things. RFID systems are radio communication systems that communicate between a radio transceiver, called an Interrogator, and a number of inexpensive devices called Tags. The objectives of RFID systems are to design a reliable, secure, novel architecture and to minimize the total cost of the Interrogator and the Tags, while meeting the system performance requirements. In RFID systems, the Interrogator communicates to the Tags using modulated radio signals, and the Tags respond with modulated radio signals. Most commonly, this communication utilizes Time-Division Duplex (TDD) or Half Duplex techniques. Full Duplex (FD) techniques are also possible, as disclosed in pending U.S. patent application Ser. No. 08/492,174, and are particularly useful where a fast response is needed. In a TDD system, after transmitting a message to the Tag, the Interrogator then transmits a Continuous-Wave (CW) radio signal to the Tag. The Tag then modulates the CW signal using Modulated BackScattering (MBS) where the antenna is electrically switched, by the modulating signal, from an "open" to a "short".

Examples of prior art in MBS technology are described in U.S. patents 4,075,632 and 4,360,810. MBS systems typically utilize the amplitude-modulated techniques described above for communications from the Interrogator to the Tag, and utilize MBS for communications from the Tag to the

Interrogator. The MBS communications can utilize any conventional modulation technique. MBS systems are desired to operate successfully in the presence of multiple Tags in the Interrogator reading field. There are classically known techniques (e.g., Simple Aloha, Slotted Aloha) which allow multiple devices to respond to a central communications device when each of those devices is not aware of the presence of the others. This invention discloses improved methods for MBS systems to successfully operate with multiple Tags responding in an independent and simultaneous manner.

Summary of the Invention

In accordance with the present invention, a novel Time Division Multiple Access (TDMA) duplex radio communication system comprises an Interrogator which generates a first radio signal by modulating a first information signal onto a radio carrier signal. The Interrogator transmits the first radio signal to at least one remote Tag of the system. The remote Tag receives and processes the received first radio signal. The remote Tag then modulates a second information signal onto a second radio carrier signal to form a second modulated signal. This second modulated signal is then transmitted, in a time-slotted manner, back to the Interrogator. The remote Tag selects, or is instructed, how many times it should repetitively transmit the second modulated signal and selects, or is instructed, over how many of the time slots following receipt of the first radio signal the remote Tag should repetitively transmit the second modulated signal. Other embodiments of this invention include the use of Modulated Backscatter to transmit the second modulated signal, and the use of homodyne detection to demodulate the second modulated signal. A novel Frequency Division Multiple Access (FDMA) duplex radio communication system is also developed which utilizes multiple subcarrier frequencies; in addition a novel approach which combines the FDMA and the TDMA methods is also disclosed. A novel Code Division Multiple Access (CDMA) duplex radio communication system is also developed which utilizes multiple spreading codes; in addition a novel approach which combines the CDMA and the TDMA methods is also disclosed. A novel method for power control of the tag, using modulated backscatter, is also disclosed. Finally, a method for the Interrogator to instruct the Tag to dynamically alter the data rate of the second information signal is also disclosed.

Detailed Description

RFID system applications differ greatly in the data rate requirements for the Downlink (Interrogator to Tag) and the Uplink (Tag to Interrogator) directions; they also differ greatly in other parameters, such as the number of Tags that may be located in the reading field. For example, one class of applications involves using RFID technology to read information from a Tag affixed to a container or pallet. In this application, the container is moved (by being pulled by a small truck) across the reading field of an Interrogator. The reading field is defined as that volume of space within which a successful transaction can take place. Since the Tag is moving through the reading field, the RFID system has only a limited amount of time to successfully complete the transaction. In this application, the Tag could be moving as fast as 10 meters/second through the reading field. The reading field would consist of a roughly conical volume, extending 5 meters away from the Interrogator, and the cone having an angle of roughly 60 degrees total spread (30 degrees to either side of a direct path from the Interrogator to a point immediately in front of the Interrogator). Given this situation, the RFID communications with each Tag

must be completed in less than about 0.2 seconds. Also, in this application, generally only a few (1-2) Tags are in the reading field at the same time.

Another application example is to use RFID tags to track sacks of mail in a post office. In this example, the sacks of mail would be placed inside a large bin or container, and the bin moved through the reading field at a relatively low speed (perhaps 1-2 meters/second at most). However, this application may have up to 50 or more Tags in the reading field simultaneously.

In other applications, RFID Tags may be attached to every item on the shelves of supermarkets, and these RFID Tags interrogated as the shopping cart is passed under (or through) an Interrogator reading field. In this application, far beyond 50 Tags may need to be in the reading field.

Other applications for RFID systems call for the Tags to be interrogated at distances significantly greater than 5 meters. To support this greater range, the Downlink and Uplink data rates are limited to maintain an acceptable signal-to-noise ratio at both the Tag and at the Interrogator. An example of these alternative applications was discussed in pending U.S. patent application Ser. No. 08/504,188, entitled "Modulated Backscatter Wireless Communication System Having An Extended Range," in which Tags were used as Electronic Shelf Labels to display correct prices on a supermarket shelf.

Therefore, an object of the present invention is an RFID system that provides flexibility to allow a common RFID system design to support these differing applications. To accomplish this, the RFID system of the present invention utilizes Modulated Backscatter technology that operates with an Enhanced Uplink.

In this invention, we disclose how to enhance the uplink protocol and performance of an MBS system using any of three different multiple access schemes - Time Division Multiple Access (TDMA), Frequency Division Multiple Access (FDMA), and Code Division Multiple Access (CDMA). The information received by the Tag from the Downlink will be used to inform the Tag which variant of these multiple access schemes to use.

With reference to FIG. 1, there is shown an overall block diagram of an illustrative RFID system useful for describing the application of the present invention. An RFID Interrogator 101 communicates with a plurality of Tags (Tag 1, referred to as 102-1, through Tag N, referred to as 102-N, all collectively referred to as 102) using radio communications. The Downlink Signal 103 is typically an amplitude modulated signal and it instructs the Tag 102 in the specifics of the Uplink Signal 105 that it should return to the Interrogator 101. The Uplink Signal 105 is transmitted to the Interrogator 101

by the use of MBS. The details of the Uplink Signal 105 will be discussed below. In summary, the Interrogator 101, after having transmitted the Downlink Signal 103, then transmits a CW Signal 104 to the Tag 102. Through the use of MBS, the Tag 102 can modulate and reflect this CW Signal 104 back to the Interrogator 101.

FIG. 2 illustrates how the Downlink Signal 103 could be formatted. One primary purpose of the Downlink Signal 103 is to allow the Tag 102 to achieve synchronization with the Interrogator 101. The Downlink Signal could contain a Synchronization Field 201, an optional Op Code 202, an optional Mode 1 indicator 203, an optional Mode 2 indicator 204, and other optional Mode indicators (e.g., 205). This formatting is illustrative of the general method. The Op Code 202 is treated here as a separate field. However, the Op Code 202 is more general; the Op Code 202 does not have to be in a separate field from the other portions of the Downlink Signal 103. For example, the Op Code 202 could be an integral part of the Synchronization Field 201, in the sense that the bits used for synchronization and the bits used for the Op Code could be intermixed in any manner; however the result of the Tag 102 receiving this intermixed series of bits is that bit synchronization is achieved, which is the objective of the Synchronization Field 201, and also that the Tag 102 can infer the Op Code 202 from this intermixed series of bits. Additionally, an explicit Op Code 202 could be optional in the sense that a particular implementation of the techniques disclosed below could be encoded, in some manner, within the Tags 102. In this case, the Tags 102 are programmed to respond in a fixed manner whenever they receive a Synchronization Field 201. In this case, even though no explicit Op Code 202 is transmitted, an Op Code — that is, the instruction to execute a specific operation — could be implied by the design of the system.

The Synchronization Field 201 allows Tags in the reading field to achieve bit synchronization to the Downlink Signal 103. This field is typically a set of repeating bit patterns. The best method is to send a PN or Barker code. The Op Code 202, whether it is explicit or implicit, is the fundamental control parameter for the Tag. In a pending Application (08/492,173) a technique similar to this is used for the purpose of informing the Tag which of two different Modes of operation to use for the Uplink Signal from this Tag. In this invention, an explicit Op Code 202 informs the Tag 102 which of a wide range of Uplink Signal 105 Modes should be used. Mode 1 (203) and Mode 2 (204) messages are sent to instruct the Tag what parameters to use for specific Uplink Signal 105 Modes.

Time Division Multiple Access (TDMA)

The most straightforward multiple access scheme to use is TDMA. In TDMA, the Downlink Signal 103 informs all Tags in the reading field that they should respond (e.g., with their IDentification number). After completion of the Downlink Signal 103, the Tags 102 are able to respond with an Uplink Signal 105. In the classical technique known as Simple Aloha, the Tags 102 respond at randomly chosen times after the completion of the Downlink Signal 103. In the classical technique Slotted Aloha, the RFID system divides time after the completion of the Downlink Signal 103 into discrete Time Slots, as illustrated in FIG. 3. In this Figure, after the completion of the Downlink Signal 103, time is divided into a finite number of Time Slots, typically of fixed length. The Uplink Signal 105 from the first Tag to respond - let us refer to that response as Tag 1 Response (301) - is received in Time Slot 3, where Time Slot 1 is the Time Slot in which the Downlink Signal 103 is received. The Uplink Signal 105 from the second Tag to respond -- referred to as Tag 2 Response (302) -- is received in Time Slot 5. In Time Slot 7, however, we find that Tag 3 Response (303) and Tag 4 Response (304) are both received -- this is called a "collision". The result of the collision, ignoring capture effects, is that neither Tag 3 Response (303) nor Tag 4 Response (304) is correctly received by the Interrogator 101.

To mitigate this problem, a Poly Aloha Multiple Access (PAMA) method has been developed in accordance with the present invention. An example of PAMA is shown in FIG. 4. In this illustration, a "2 out of 12" PAMA is shown. By "2 out of 12" we mean the following: Downlink Signal 410 is transmitted to all Tags in the reading field. This message instructs all such Tags to respond with their Uplink Signals 105 using a "2 out of 12" PAMA - i.e., the Op Code 202, explicit or implicit, indicates that PAMA should be used, the Mode 1 (203) parameter is "2", and the Mode 2 (204) parameter is "12". Note that after the Downlink Signal 410 shown in FIG. 4 is sent, the Interrogator 101 then transmits CW Signal 411 so that the Tags 102 can modulate and selectively reflect the CW Signal 411 back to the Interrogator 101. Thus, the Tag Responses (e.g., 401) represent modulated reflections of the CW Signal 411; this technique is called Modulated Backscatter. For the remainder of this specification, it should be understood that the CW Signal 411 may be utilized as the radio carrier signal for the Tag. Alternatively, if desirable, the Tag could contain a separate radio carrier signal generator.

In PAMA, time is divided into time slots, which are shown here for simplicity as being of equal length. The Interrogator 101 transmits

Downlink Signals 103 within the duration of one time slot; in this example, a Downlink Signal 103 is transmitted regularly every 8 time slots. This regular transmission is done because new Tags can enter the reading field at any time, and since those Tags may be moving rapidly (as discussed above), frequent Downlink synchronization messages are required to be sure a Tag is not "missed". (Note that in an FD system, a synchronization signal may be available all the time.) The Mode 2 parameter (12 in this case) indicates that, after the Tag 102 receives the Downlink Signal (such as 410), it will transmit (using MBS) Mode 1 (i.e., 2) Uplink Signal 105 responses within the next Mode 2 (i.e., 12) available time slots. Note that Time Slot 8 in FIG. 4 is occupied by Downlink Signal 420, so the Tags 102 would not consider that time slot to be available. The Tags would randomly select which two of the available 12 Time Slots to use for their Uplink Signals 105.

In the above, it was stated that "the Op Code 202 indicates that PAMA should be used." As discussed above, the Op Code 202 is an optional parameter which could be either explicitly included or inferred based upon the system design. Thus, it would be possible for a Downlink Signal 103 to contain a Synchronization Field 201, a Mode 1 (203) parameter, and a Mode 2 (204) parameter, but no explicit Op Code 202; in this case, the Op Code 202 would be inferred by the system design as meaning "all Tags 102 that receive this Downlink Signal 103 should respond with an Uplink Signal 105 using the (Mode 1) out of (Mode 2) PAMA scheme." Thus, the Op Code 202 could be implicit. However, in the case where a more complex protocol is desired, such as one in which you wish to instruct the Tag 102 to perform other functions than to transmit the standard PAMA responses, an explicit Op Code 202 is required.

Therefore, PAMA, generalized to allow variable "Mode 1" and "Mode 2" parameters determined by the Downlink Signal 103, constitutes a general method to allow different types of RFID applications to use a common protocol. PAMA could be further generalized to allow the Downlink Signal 103 to instruct the Tags 102 to modify what data is sent in the Uplink Signal 105, the length of time occupied by each Time Slot, etc. This could be accomplished by adding more "Mode N" parameters to the Downlink Signal 103 in a straightforward extension of the Downlink Signal 103 illustrated in FIG. 2.

The "Mode 1" and "Mode 2" parameters may be used in the following manner. RFID applications which have more Tags 102 in the reading field, and in which the Tags 102 are moving less rapidly, could use a larger "Mode 2" parameter - i.e., space the Uplink Signals 105 farther out in time,

thus allowing more Uplink Signals 105 to be successfully received. RFID applications which have fewer Tags 102 in the reading field, and in which the Tags 102 are moving more rapidly, could use a smaller "Mode 2" parameter - i.e., have the Uplink Signals 105 received within a relatively short time period, thus allowing the Tags 102 to move more rapidly. The Mode 1 parameter could be determined based upon the expected number and speed of Tags in the reading field, and based upon the selected value of "Mode 2", in order to achieve a particular probability of successful uplink transmission.

Another example of the PAMA method is now described. The Interrogator 101 could take measurements of the signal strength and error characteristics of Uplink Signals 105 received during specific Time Slots. If the signal strength is strong within a certain Time Slot, but the error rate was high within that Time Slot, it might be reasonably inferred that multiple Tags 102 had each transmitted an Uplink Signal 105 within that Time Slot. If this event occurs often over a series of Time Slots, it might be reasonably inferred that more Tags 102 are in the reading field than the current values of "Mode 1" and "Mode 2" can support. In that event, the Interrogator 101 could change the "Mode 1" and "Mode 2" parameters in the Downlink Signal 103; perhaps instructing the Tags in the reading field to space their Uplink Signals 105 over a longer series of Time Slots (i.e., increase "Mode 2"). It may also be found by simulation or experimentation that changes in "Mode 1" could be of assistance in this regard. Using this technique, the PAMA technique can be dynamically adapted, based on the characteristics of the number of Tags 102 in the reading field.

The PAMA technique described above can be further generalized to allow the Interrogator (101) to send a command and/or data to a particular Tag 102; this can happen in the following manner. The Op Code 202 can direct the Tags 102 to respond with their identification number using the PAMA technique as discussed above. The Op Code 202 could alternately direct the Tags 102 to not immediately respond. This is shown in FIG. 5. The Interrogator 101 sends Downlink Signal 510 to all Tags 102 in the reading field. The Op Code 202 in Downlink Signal 510 commands all Tags 102 to listen and to not transmit any Tag Responses (e.g., 401) until the next Downlink Signal 520 is received. The Interrogator 101 then transmits a Tag Address 501 indicating the identification number of a specific Tag 102 with which it wishes to communicate. After the Tag Address 501, a Tag Command 502 is sent to that Tag 102, indicating what operation the Interrogator 101 is directing that Tag 102 to perform. Then, optional Tag Data 503 is sent by Interrogator 101 to

the Tag 102; this optional field contains data the Interrogator wishes this Tag 102, for example, to store in its local memory. FIG. 5 shows the Tag Address 501 requiring two Time Slots to transmit, and the Tag Command 502 requiring one Time Slot to transmit, and the Tag Data 503) requiring two Time Slots to transmit; these choices were made for illustrative purposes only; in an actual implementation the length of time required to transmit each of these three transmissions (501, 502, or 503) could be less than or more than the number of Time Slots shown in FIG. 5. The actual number of Time Slots, or whether some or all of these transmissions (501, 502, or 503) could be sent together within a single Time Slot, would depend on the length of one Time Slot, the Downlink data rate, the number of bits in each of these transmissions (501, 502, and 503), etc. It is also possible, referring again to FIG. 5, for some or all of the Downlink Signal 510, the Tag Address 501, the Tag Command 502, and the Tag Data 503 to be transmitted within a single Time Slot; as mentioned before, this is determined by the length of the Time Slot, the number of bits in each field to be transmitted, and the Downlink bit rate, etc.

Therefore, a particular Tag 102 could be sent a specific message containing an operation and specific data destined for that Tag 102. It should be obvious at this point that the protocol could be extended to allow more than one Tag 102 to receive a specific message containing a different operation and data, assuming the Downlink data transmission rate was sufficiently large and the number of bits of information in transmissions (501, 502, and 503) were sufficiently small such that communications to more than one Tag 102 could take place within the time period of Time Slots 2-7 of FIG. 5.

At Time Slot 8 of FIG. 5, the Interrogator sends Downlink Signal 520, which could request all Tags 102 in the reading field to respond with their identification numbers. Alternately, the Interrogator 101 could send Downlink Signal 520 to request all Tags 102 in the reading field to listen for another Tag Address 501, Tag Command 502, etc.; this would be done in the event that the Interrogator 101 desires to transmit a command and/or data to another Tag 102.

Let us assume that the Interrogator 101 has transmitted a Tag Address 501) Tag Command 502, etc., and let us further assume that the operation indicated by the Tag Command 502 instructs the addressed Tag 102-1 to perform some function (e.g., store data transmitted within the Tag Data 503 field), which does not require the Tag 102-1 to transmit any data back to the Interrogator 101. However, even if no data is to be transmitted back to the Interrogator, the Tag 102-1 should transmit an acknowledgment indicating

successful receipt of the previous command (i.e., that the command was legitimate, that the entire message was received error free, that the command was successfully executed, etc.). Thus, after successful receipt of the previous message, the Interrogator 101 would transmit another Downlink Signal 103 instructing all Tags 102, including Tag 102-1, to respond with their Uplink Signals 105 using the PAMA technique described above. Tag 102-1 would include within its Uplink Signal 105 a Tag Ack 604 (described further below) indicating successful receipt of the previous message. If Tag 102-1 does not receive the previous message correctly (i.e., in an error free manner), or if it is otherwise unable to execute the Tag Command 502, the Tag 102-1 would transmit an Uplink Signal 105 with a Tag Ack 604 indicating this Tag 102 did not take any action based upon the previous message. All other Tags 102 would also transmit an Uplink Signal 105, using the PAMA technique, with a Tag Ack 604 indicating that this Tag 102 did not take any action based upon the previous message. Thus, given this technique, the Tag 102-1 has acknowledged the previous message, and the normal PAMA scheme has begun.

The PAMA technique described above can be further generalized to allow the Tag 102 to respond with data other than the data with which it normally responds during a Tag Response (e.g., 401). Using the above techniques, a Tag 102 could be transmitted a specific Tag Address 501, Tag Command 502, and optional Tag Data 503. We note that the above technique could be used to send a specific Tag Command 502 to one, more than one, or all of the Tags 102 in the radio field. The Tag Address 501 field could identify a single Tag (i.e., 102-1), or could identify a set of Tags 102 in the reading field (e.g., all Tags 102 which represent cargo containers of a common type), or the Tag Address 501 could identify all Tags 102 in the reading field. For simplicity, we will assume that only one Tag (Tag 102-1) was identified by the Tag Address 501. This Tag 102-1 is thus instructed to carry out the operation indicated by the Tag Command 502.

To illustrate a specific embodiment of the above techniques, FIG. 6A and FIG 6B show how the Tag Responses (such as 401, 402, etc.) could be formatted. FIG. 6A shows the Uplink Signal 105 that the Tags 102 would use for a "normal" PAMA response. This format would be used in the event this Tag 102 was not previously addressed by a Tag Address 501 field. This format would also be used in the event this Tag 102 was previously addressed by a Tag Address 501 field, but for any reason (as discussed above) this Tag 102 was unable to successfully complete the Tag Command 502. The Uplink Signal 105 response would begin with a Sync Signal 601 (to allow the Interrogator 101 to

properly achieve bit synchronization to this Uplink Signal), then contain a Tag ID 602 9a unique number indicating the identification of this Tag), then contain Optional Data 603 (which would contain any data stored on the Tag 102 that is always transmitted to the Interrogator 101 together with the Tag ID 602), then contain a Tag Ack 604 (containing "Negative Acknowledgment"), and then contain an Error Detect and/or Correct 606 (to allow the Interrogator 101 to validate the accuracy of and/or correct the received Uplink Signal).

If a Tag 102-1 has previously received, immediately before the last Downlink Signal 520, a Tag Address 501, Tag Command 502, and optionally Tag Data 503, and the Tag Command 502 was successfully executed, then that Tag 102-1 would respond as shown in FIG. 6B. This response is essentially identical to the response shown in FIG. 6A discussed above, except that the contents of the Tag Ack 605 would be a "Positive Acknowledgment". The use of "Positive Acknowledgment" in the Tag Ack 604 field would indicate successful execution of the Tag Command 502. It should be noted that "Positive Acknowledgment" is a general response which could be encoded in any manner (e.g., "Positive Acknowledgment" as a "1" and "Negative Acknowledgment" as a "0"). Thus, the Tag Responses shown in FIG. 6A and in FIG. 6B could be of identical length and format, and could be transmitted to the Interrogator 101 using the PAMA technique discussed above (i.e., these Tag Responses are sent "Mode 1" times over the next "Mode 2" available Time Slots), where the "Mode 1" and "Mode 2" parameters are transmitted by the Interrogator 101 during Downlink Signal 520.

It should be noted that FIG. 5 shows the Interrogator 101 sending Downlink Signal 520 during Time Slot 8. Since the Tag Data 503 was completed during Time Slot 6, the Interrogator could have chosen to begin Downlink Signal 520 during Time Slot 7 rather than 8. Thus, if the Tag Address 501, Tag Command 502 and Tag Data 503 fields do not require many Time Slots, the next Downlink Message 520 can proceed as soon as possible to allow as many transactions to proceed in as short an overall time period as possible.

One application of the above protocol is if a Tag 102 is identified as being in the reading field, and the Interrogator then wishes to instruct that particular Tag 102 that it does not wish it to further respond. This could occur in the event that a Tag 102 remains in the reading field indefinitely, and responding continuously; unless the responses are halted, the battery in the Tag 102 could run down. Therefore, it would be helpful for the Interrogator to recognize that a particular Tag has successfully acknowledged, and is continuing

to acknowledge, and request that Tag to cease further responses (perhaps for a specific time duration). This could be accomplished by the Interrogator transmitting this Tag's Address 501 and a Tag Command 502, as shown in FIG. 5, where the Tag Command 502 instructs this particular Tag (Tag 102-1) to cease further responses. Another use for this same technique would be for the Interrogator 101, once it received an Uplink Signal 105 from a specific Tag 102-1 and therefore identified this Tag 102-1 as being in the reading field, could instruct this particular Tag 102-1 to cease further responses. This would allow the remainder of the Tags 102 in the reading field to continue responding according to the PAMA technique discussed above, but with a larger probability of having the Interrogator 101 receive their Uplink Signals 105 without a collision. Therefore, using this technique, PAMA could support even more Tags in the reading field.

As discussed above and as shown in FIGs. 6A, 6B, the Interrogator 101 could request that the Tag 102 transmit data to the Interrogator other than the Tag ID 602 and the Optional Data 603 that the Tag 102 normally transmits during a Tag Response Signal. Such an exchange could occur in the following manner, shown in FIG. 7. In FIG. 7, the Interrogator 101 transmits a Downlink Signal 710 to the Tags 102 in the reading field with the Op Code 202 in the Downlink Signal 710 set to "Listen" (i.e., requesting Tags 102 not to respond as per the PAMA technique, but rather to Listen for a Tag Address 701, immediately following the Downlink Signal 710, to determine if this Tag 102 is being specifically addressed). The Interrogator 101 then transmits the Tag Address 701, Tag Command 702, and (optionally) Tag Data 703 to a specific Tag 102-1. The Tag Command 702 instructs this Tag 102-1 to transmit a portion of, or all of, its data (which could be data stored in the memory of the Tag 102-1, or data collected from sensors or other communications devices connected to the Tag 102-1, etc.). The Interrogator then transmits Downlink Signal 720 instructing the specified Tag 102-1 to respond with the data requested by the Tag Command 702, to not use PAMA for this Address Tag Response, but to begin transmitting this Tag Response immediately after completion of Downlink Signal 720. The Op Code 202 in this Downlink Signal 720 also instructs all Tags in the reading field other than Tag 102-1 to not respond until another Downlink Signal 730 is received. The Address Tag Response 704 could have the format shown in FIG. 6C. The Address Tag Response 704 can be as long or as short as needed (based upon the amount of data required, the data rate, etc.). After the Address Tag Response 704 has been completed (shown in FIG. 7 as lasting until mid-way through Time Slot 13

-- obviously this could take either less time or more time depending on above-mentioned factors), the Interrogator 101 recognizes (by successful receipt of the Sync Signal 601, Tag Data 605, and Error Detect And/Or Correct 606) that the Address Tag Response 704 has been completed, and the Interrogator can then begin transmitting the next Downlink Signal 730, shown in FIG. 7 as during Time Slot 14 (note that there was no need to wait until Time Slot 16, as all Tags 102 other than Tag 102-1 are waiting for the next Downlink Signal 730. This Downlink Signal 730 could instruct all Tags 102 in the reading field to respond with their Tag Response Signal (FIG. 6A); i.e., the Op Code 202 of the Downlink Signal 730 would be "PAMA Respond".

Given the above, it should be apparent that all required building blocks for full two-way communication exist. Initially, the Interrogator 101 wishes to determine which Tags 102 are in the reading field. Therefore, the Interrogator 101 transmits Downlink Signal 410 requesting any Tags 102 in the reading field to respond using the PAMA multiple access scheme. The Tags 102 will then respond as shown in FIG. 4. The Interrogator then knows the Tag ID's of the Tags 102 in the reading field. Assume that the Interrogator 101 desires to transmit data to a particular one of those Tags, Tag 102-1, and also wants to receive data from Tag 102-1. Then, the Interrogator 101 transmits Downlink Signal 510 with the Tag Address 501 being the same address as that received as the Tag ID 602 Tag 102-1. This allows Tag 102-1 to be informed that a command and data is being sent to it (in the form of Tag Command 502 and Tag Data 503), and commands all Tags 102 to listen and see if their Tag ID matches the Tag Address 501. Then, the Interrogator sends Downlink Signal 520 which requests Tag 102-1 to transmit a Tag Response Signal as shown in FIG. 6C. After the Interrogator has received the Tag Response Signal shown in FIG. 6C, the Interrogator can then send Downlink Signal 730 to begin the process again.

A variant of the above will allow more Tags 102 in the reading field. The Interrogator 101 transmits Downlink Signal 410 to request that Tags 102 in the reading field respond as per FIG. 6A. The Interrogator then learns the Tag ID 602 of all, or some, of the Tags 102 in the reading field. The Interrogator 101 then transmits Downlink Signal 510, with Op Code 202 being "Listen", and then transmits Tag Address 501 and a Tag Command 502, which informs a particular Tag (102-1) that it should cease any responses until a Downlink Signal 510 is transmitted with an Op Code 202 of "Clear, PAMA Respond", which requests all Tags 102 in the reading field to respond even if they had been previously directed to be silent. In this manner, Tag 102-1 is

caused to be silent, thus increasing the probability that all Tags 102 can be received. This procedure can be continued, with more and more Tags 102 being directed to cease any responses, until all Tags 102 in the reading field are identified.

Finally, it may be helpful for the Interrogator 101 to know the PAMA pattern selected by a particular Tag 102. For example, for a "2 out of 12" PAMA, the PAMA pattern is the sequence "4, 10", in the sense that the two responses are transmitted in allowable time slot numbers 4 and 10 (see Tag 1 Responses (401, 403) in FIG. 4). This information could be valuable to the Interrogator 101 in supporting a larger number of Tags 102 in the reading field by avoiding collisions. Assume that the Interrogator 101 has identified a particular Tag, 102-1, as being in the reading field, but the Interrogator 101 wants to know the PAMA pattern of this Tag 102-1. The Interrogator 101 transmits Downlink Signal 510 with Op Code 202 of "Listen". This command instructs all Tags 102 to listen for following messages. The Interrogator 101 then transmits a Tag Address 501 (whose address is the address of Tag 102-1), a Tag Command 502 (where the command instructs this particular tag to respond with data including its PAMA pattern), and optionally transmits Tag Data 503 (in the event the Interrogator 101 also wishes to send data to Tag 102-1). This Tag Command 502 instructs Tag 102-1 to transmit a Tag Response Signal 520, containing its PAMA sequence within the Tag Data 605 field, as shown in FIG. 6C. After the Interrogator has received this Tag Response Signal (e.g., 401), the Interrogator can then send Downlink Signal 730 to begin the process again.

Frequency Division Multiple Access (FDMA)

In the TDMA approach outlined above, time is divided into a set of Time Slots and Tag Responses (such as 301) are transmitted in various of the Time Slots. Another approach to this problem is for the Tags 102 to respond to the Downlink Signal 103 using different frequencies. Using MBS, this could be accomplished as illustrated in FIG. 8. The Interrogator 101, after having transmitted the Downlink Signal 103, would then transmit the CW Signal 104 to the Tags 102 in the reading field. Referring to FIG. 8, denote the CW Signal 104 as being at RF frequency f_1 . The uplink frequency in FIG. 8 is shown at either frequency $(f_1 + f_2)$, $(f_1 + f_3)$, or $(f_1 + f_4)$. The frequencies f_2 , f_3 , or f_4 are referred to as Subcarrier Frequencies, as they represent offsets from the RF CW Signal 104 at frequency f_1 . FIG. 9 shows an illustration of a block diagram for a Tag 102 with the capability to synthesize multiple uplink frequencies. The following illustrates how the subcarrier frequencies f_2 , f_3 , or

f_4 could be created. The Frequency Synthesizer 906 illustrates a general method to synthesize one or more Subcarrier 908 frequencies. Given a single frequency source, and program controllable divider circuits or a PLL-based frequency synthesizer, the Frequency Synthesizer 906 could, under control of the Processor 905, synthesize more than one Subcarrier 908 frequency; thus this technique could synthesize the Subcarrier Frequencies f_2 , f_3 , and f_4 .

The Tag 102 could determine, perhaps randomly, which Subcarrier 908 frequency to use. Alternately, the Downlink Signal 103 could contain information --perhaps using additional "Mode" parameters (205, etc.) -- to direct the Tag 102 as to which Uplink subcarrier frequency to use. Once the Tag 102 has determined the Subcarrier Frequency to use, the Detector/Modulator 902 can send (for example) the Tag 1 Response (401) back to the Interrogator. Any of several conventional modulation schemes could be used to accomplish this transmission. For example, the Subcarrier 908 frequency, once selected, could be used as a "carrier", and the data contained in the Tag 1 Response (301) could be modulated onto the Subcarrier Frequency by the Data Modulator 907. This modulation would commonly use Phase-Shift Keying (PSK), but could use other modulation schemes as well. Therefore, the Tag 102 could transmit its Uplink Signal 105 using one of (potentially) any number of different Subcarrier Frequencies (the three Subcarrier Frequencies discussed above being only one embodiment), using PSK modulation of the actual data.

To allow multiple Tags 102 in the reading field at one time, the Tags 102 could, for example, randomly select one of the available Subcarrier Frequencies and transmit their Uplink Signals 105. Alternately, Tags 102 could use a combination of the FDMA technique discussed here with the TDMA PAMA technique discussed above. For example, Tags 102 could be directed to respond with their Uplink Signals 105 in (Mode 1) Time Slots out of the next (Mode 2) available Time Slots, with the Time Slots to use being chosen randomly, and with the Subcarrier Frequency to use also being chosen randomly. In that manner, additional degrees of freedom are provided which would allow more Tags 102 to be in the reading field at the same time and still be reliably identified. Another alternative would be for the Tags 102 to be identified using the TDMA PAMA technique outlined above; then, particular Tags 102 could be directed to respond with an Address Tag Response 704 using different Uplink Subcarriers, thus allowing more than one Tag 102 to respond with an Address Tag Response 704 at the same time.

A specific example of the above is as follows. The Interrogator 101 transmits a Downlink Signal 410 to all Tags 102 in the reading field. The Tags 102 respond using PAMA as discussed above. All of the Tags 102 respond using the same Subcarrier 908 frequency; this could be built permanently into the Tag 102 firmware, or, for example, the Tags 102 could be instructed by the Interrogator 101 to all respond on the same Subcarrier 908 frequency by the Op Code 202 received within the Downlink Signal 410. Then the Interrogator 101, based upon the information contained within the Tag Responses (401, 402, etc.), could decide that it wishes to request data from a particular Tag (102-1) in the reading field. The Interrogator 101 then transmits another Downlink Signal 710 (whose Op Code 202 instructs all Tags 102 to "Listen") followed by a Tag Address 701 and a Tag Command 702, instructing that specific Tag 102-1 to transmit a particular set of data back to the Interrogator 101. Then, the Interrogator 101 transmits another Downlink Signal 720. The Op Code 202 of this Downlink Signal 720 instructs the specific Tag 102-1, whose ID matched that transmitted in the Tag Address 701, to respond with an Address Tag Response 704 (see FIG. 6C for details); and it also instructs all other Tags 102 in the reading field to respond using "normal" PAMA with their Tag N Response (401, etc.) messages. However, the Address Tag Response 704 would be transmitted by Tag 102-1 using a different subcarrier frequency than that used for "normal" PAMA Tag N Responses (401, etc.). The fact that Tag 102-1 uses a specific Subcarrier 908 frequency could be permanently built into the Tag, or it could be instructed to do so by the Interrogator through information contained in the Tag Command 702 or in the Tag Data 703. Thus, in this manner, the Interrogator could continue, in a relatively unhindered manner, to receive both Uplink Signals 105 (Tag N Responses (401, etc.) from Tags 102 other than Tag 102-1 using one Subcarrier 908 frequency, and to receive data (an Address Tag Response 704) from Tag 102-1 on another Subcarrier 908 frequency.

In the above cases, the selection of Subcarrier 908 frequencies should be made with care. In pending application Ser. No. 08/504,188, it is disclosed that MBS systems have modulated reflections from a wide variety of mechanical and electronic equipment. Thus, in general, the Subcarrier 908 frequency must be large enough to avoid such noise - at least above 10 kHz, preferably above 100 kHz, and ideally as great as 500 kHz or more. Furthermore, in the case that multiple Tags are responding simultaneously on different Subcarrier 908 frequencies, the different frequencies must be

adequately separated such that the data bandwidths can be transmitted without interfering with each other.

For the Interrogator to demodulate responses received on different Subcarrier 908 frequencies complicates, somewhat, the Interrogator design but is not difficult in practice. A/D converters and Digital Signal Processing (DSP) techniques could be used to sample the demodulated signal in the Interrogator 101; the A/D converters would have sampling rates high enough to support the highest Subcarrier 908 frequency that Tag 102 could support. The DSP could then perform a Fourier analysis to recover data from the multiple Subcarrier Frequencies.

Code Division Multiple Access (CDMA)

CDMA is a multiple access protocol that involves using Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) modulation, applied to both the Downlink and to the Uplink. Each "mobile" (or Tag 102 in this case) is assigned a unique spreading code; this allows the mobile and the base to differentiate the communications from one mobile or the other by decorrelating the incoming signal using the unique spreading code. CDMA is usually considered to be a complex multiple access protocol because of the decorrelation operations that must be performed, as well as complex timing and power management issues.

We should first differentiate between the use of Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) as a Modulation scheme and the use of CDMA as a multiple access scheme. There may be benefits to RFID applications to use DSSS even if CDMA is not used. For example, it may be desirable for either the Downlink Signal 103 or the Uplink Signal 105 to be spread (i.e., to use DSSS Modulation). The noise/interference environment may be "bursty" in the sense that the noise is of short time duration relative to the length of a Downlink Signal 103 or an Uplink Signal 105. Or the multipath environment may be such that there are deep nulls, with temporal widths small in comparison to the length of a Downlink Signal 103 or an Uplink Signal 105. In either case, DSSS Modulation, assuming there is adequate processing gain, may be helpful in defeating this type of noise and/or multipath. If the noise is broadband, or has Gaussian characteristics, then it is unlikely for DSSS Modulation to be helpful.

Thus, we now consider how CDMA could be applied to an RFID system. In the Downlink, let us consider an RFID system implementation in which all Interrogators within range of each other are transmitting the same information in a time synchronized manner or, equivalently, that the Interrogators are sufficiently spatially separated such that their signals are

independent. Then, the use of CDMA in the Downlink is essentially the same as using DSSS modulation in the Downlink; we have already discussed under what conditions this could be of benefit. One disadvantage of this approach is that the Tag 102 would have to perform a decorrelation function to retrieve the Downlink Signal 103 data from the spread Downlink message; thus, the Processor 905 in the Tag 102 would have to operate at (the length of the spreading code) times faster than the actual data rate of the Downlink Signal 103. The faster the Processor 905 operates, the more power that processor consumes, thus reducing the lifetime of the Tag 102 (which typically has a small non-replaceable battery).

To use CDMA for the Uplink, different DSSS spreading codes are assigned to different tags; thus, the advantage of CDMA for the Uplink is that multiple Tags 102 could send their Uplink Signals 105 at the same time. The implementation of this may not be complex. For example, assume that the Processor 905 in the Tag 102 operates from a fixed frequency clock of 4 MHz. The Processor 905 can then create, using software, a subcarrier of perhaps as much as 1 MHz, where the maximum frequency subcarrier is dependent on Processor architecture and instruction set. Alternately, a subcarrier frequency could be synthesized in hardware using a crystal oscillator and frequency divider circuits; this method could allow a higher subcarrier frequency to be synthesized than would be possible using software in the Processor 905. Using the techniques discussed above, the subcarrier could be used as a carrier upon which the spreading code could be modulated, to form a spread subcarrier, and the data for the Uplink Signals 105 could be modulated upon this spread subcarrier. The Interrogator would then perform the decorrelation for the spreading codes being used at this time. If CDMA is used for all Uplink Signals 105, then the Interrogator a priori will not know which Tags are in the reading field, and will therefore have to perform a decorrelation on all possible spreading codes (which could be a complex task, depending on the number of spreading codes used). The length of the spreading code used, and thus the amount of "coding gain" achieved, is based upon the ratio of the maximum encoded subcarrier the Tag 102 can generate (1 MHz in the above example) and the data rate of the Uplink Signal 105. For example, if the data rate of the Uplink Signal 105 was 10 kbps, then the spreading code could be of length roughly 100, leading to a processing gain of roughly 19 dB.

To implement CDMA for the Uplink Signals 105, the Tags 102 would be assigned spreading codes, or they could choose the codes randomly at the time they receive the Downlink Signal 103. The Tags 102 would then

respond with their Tag Response 401 as was shown above for PAMA; however the Tag Response 401 for a particular tag would use a specific spreading code. Since the actual data rate for the Tag Response 401 could be unchanged, the responses which took one Time Slot above to complete would still require the same one Time Slot to complete in the CDMA Uplink case. However, multiple Tags would be acknowledging during one time slot.

In order to keep the complexity of the decorrelation in the Interrogator 101 to a manageable level, it may be necessary to limit the total number of uplink spreading codes in use within the entire population of Tags 102. In this case, the Tag 102 could, for example, choose the spreading code randomly either at Tag initialization time or at the time a Downlink Signal 103 is received. However, that would mean that it is possible for more than one Tag to be responding at the same time using the same direct sequence spreading code, and thus the Interrogator could not successfully decorrelate those signals. In that event, it may be beneficial to combine the use of CDMA for the Uplink Signals together with the TDMA PAMA scheme discussed above. Conceptually, this is the same as discussed above by combining FDMA with the TDMA PAMA. The PAMA scheme could function as described above; however, the Tag Responses 401 would be spread using a randomly chosen spreading code. This would allow more Tags to be in the reading field at one time and still be identified; or it could allow the same number of Tags 102 to be in the reading field, but to identify those tags in fewer Time Slots (since you are trading Time Slots for coding space). Other permutations are also obvious, based upon the number of Tags, amount of coding, etc.

Uplink Power Control

One important issue in radio communications systems, and especially in CDMA systems, is power control of the mobile units. The problem is basically the classical "near/far" problem, where mobile units close to the base station will be heard by the base station at a much greater power level than mobile units far from the base station. Some CDMA systems use power control systems that have the base station monitor the strength of returning signal from various mobiles, and instruct those mobiles whose signals are received strongly to reduce that mobile's transmit power down to a predetermined threshold value, where that threshold value was determined to be the minimum power required to achieve a desired signal-to-noise ratio. In modulated backscatter systems, an incoming CW Signal 104 is received by the Tag 102, and the CW signal is modulated and reflected by the Tag 102 using

modulated backscatter. It would seem that modulated backscatter would have no mechanism for power control.

One possible implementation of the Detector/Modulator 902 in FIG. 9 involves the use of a single microwave diode as a detector and also as a modulator. FIG. 10 shows one possible embodiment of a single diode as detector and also as modulator. In this implementation, the diode has three states, based upon the amount of Modulation Current 1030: "open", "matched", and "shorted", depending on the Modulation Current 1030. (It should be noted that classes of diodes exist such as Zero Bias Schottky diodes in which no Modulator Current 1030 is necessary for the correct operation of the Diode 1020 as a detector.) The "state" that the Diode 1020 is in influences the reflection coefficient of the Antenna 1010. Assume that the required Modulation Current 1030 required to achieve the "shorted" state is i_1 . Then, it has been found that the use of a Modulation Current 1030 less than i_1 will allow MBS communications to still take place but in a degraded fashion, in the sense that the "loss" the Tag 102 injects into the link budget increases as i_1 decreases. The reduction in i_1 effectively causes the reflection coefficient of the antenna to decrease, thus decreasing the amount of reflected signal. Therefore, a Tag 102 with the capability of dynamically changing the amount of Modulation Current 1030 applied to the Modulator Diode 1020 could reduce the received signal strength of the reflected signal at the Interrogator 101.

It should be obvious from the above discussion that the general technique being applied here is to electronically "de-tune" the impedance match between the Antenna 901 and the Detector/Modulator 902. This "de-tuning" will allow the signal strength of the reflected signal to be decreased by decreasing the Antenna 901 reflection coefficient. Even if the Modulator element in 902 is not a diode but, for example, an FET or a more complex circuit, the same principles apply.

It should also be obvious that the above technique could be applied to any of the TDMA, FDMA, or CDMA methods discussed above.

Variable Uplink Data Rate

In the discussion above, it has been implicitly assumed that the data rate of the Uplink Signal 105 is constant. It is possible for the Downlink Signal 103 to instruct the Tag 102 to change the data rate of the Uplink Signal 105. For example, consider an embodiment based on FIG. 9. In this embodiment, a Frequency Synthesizer 906 is used to create a Subcarrier 908. This Subcarrier 908 is used as the "carrier" upon which data is modulated by the Data Modulator 907. Note that the data rate of the data modulated by the

Data Modulator 907 is not related to the specific Subcarrier 908 frequency, with the exception that the Subcarrier 908 frequency must be great enough so that enough bandwidth is present to carry the data, and that the Subcarrier 908 frequency is sufficiently far from the CW Signal 104 to minimize noise.

Therefore, it would be possible for the Interrogator 101 to instruct the Tag 102 to modify the Uplink Signal 105 data rate. This instruction could be done using the Op Code (202) and Mode (203, 204, etc.) parameters in FIG. 2. It should be noted that the Tag, as long as the Subcarrier 908 is large enough to support this data rate, as discussed above, the actual Subcarrier 908 frequency need not be altered. This would be of great benefit in the design of the Interrogator 101. Consider the Interrogator embodiment shown in FIG. 11. The Radio Signal Source 1101 transmits the Downlink Signal 103 and CW Signal 104) through the Transmit Antenna 1102. The Uplink Signal 105 is received by the Receive Antenna 1103, optionally amplified and filtered (not shown), and sent to a Homodyne Receiver 1104, typically an I&Q demodulator. The output of the Homodyne Receiver 1104 is the Subcarrier Signal 1107, which in theory is the same signal (except for normal radio path distortions, noise, etc.) as the Subcarrier Signal 909 of FIG. 9. This Subcarrier Signal 1107 is then sent to a Subcarrier Demodulator 1105, typically a Digital Signal Processor (DSP). Note that any filtering and amplification after the Receive Antenna 1103 is not dependent on the data rate of the Uplink Signal 105. In the Subcarrier Demodulator 1105, a change in the data rate could be easily supported. If the Subcarrier 908 frequency were unaltered, or not altered substantially, the ability to alter the data rate of the Uplink Signal 105 would not be difficult to implement. In fact, such an ability would be possible even if the Subcarrier 908 frequency were altered; however such an implementation would be more difficult than if the Subcarrier 908 frequency were not significantly altered. Also, if the Subcarrier Demodulator 1105 were a DSP, the implementation of this capability would likely be straightforward.

One possible way this capability could be utilized is as follows. The Interrogator 101 could monitor the signal quality and error characteristics of the Uplink Signals 105. In the event that the Uplink Signals 105 are being received with an unacceptable signal-to-noise ratio, but if no evidence of Collisions (see FIG. 3) are present, then a reasonable action the Interrogator could take would be to instruct the Tags in the reading field to decrease the data rate of the Uplink Signal 105. This would increase the "energy per bit" of the received Uplink Signal 105. As discussed above, using a DSP as a Subcarrier Demodulator 1105, the Interrogator 101 could also decrease the noise bandwidth

within that DSP. It should also be noted that this technique of dynamically modifying the data rate of the Uplink Signal 105 could be applied to either of the three multiple access methods discussed above: TDMA, FDMA, or CDMA.

What has been described is merely illustrative of the application of the principles of the present invention. Other arrangements and methods can be implemented by those skilled in the art without departing from the spirit and scope of the present invention.

4. Brief Description of Drawings

In the drawing,

FIG. 1 shows a block diagram of an illustrative Radio Frequency Identification (RFID) system;

FIG. 2 shows one possible embodiment of the various fields contained within a Downlink Signal; used in the RFID system of FIG. 1;

FIG. 3 shows a Time Slot sequence used in conventional implementations of the RFID system of FIG. 1;

FIG. 4 shows the Poly Aloha Multiple Access (PAMA) method used in the RFID system of FIG. 1;

FIG. 5 expands the PAMA method shown in FIG. 4 in which a specific Tag is sent a command and/or data;

FIGs 6A - 6C further expand the PAMA method shown in FIG. 4 to illustrate the various forms of a Tag Response;

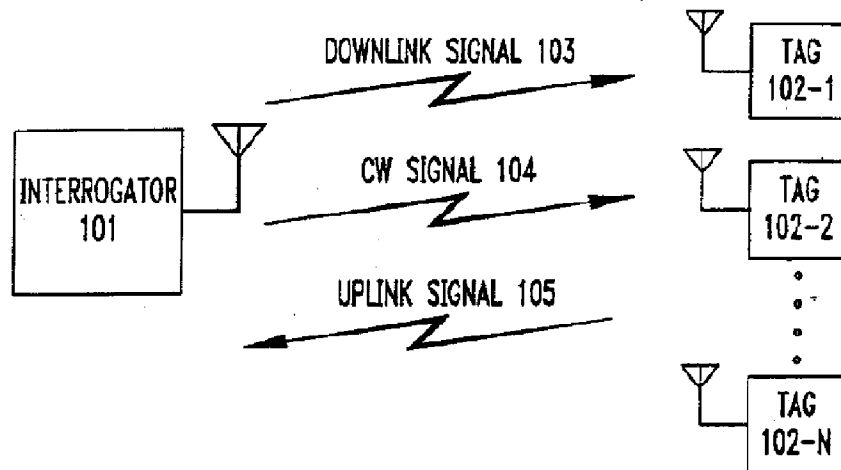
FIG. 7 further expands the PAMA method shown in FIG. 4 to illustrate how the Tag Response shown in FIGs. 6A - 6C fits into the overall PAMA structure shown in FIG. 4;

FIG. 8 shows the relationship of multiple Uplink Frequencies used in the Uplink Signal shown in FIG. 1;

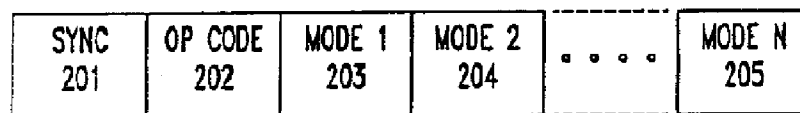
FIG. 9 shows one embodiment of the remote Tag shown in FIG. 1;

FIG. 10 shows one embodiment of the Detector/Modulator shown in FIG. 9; and

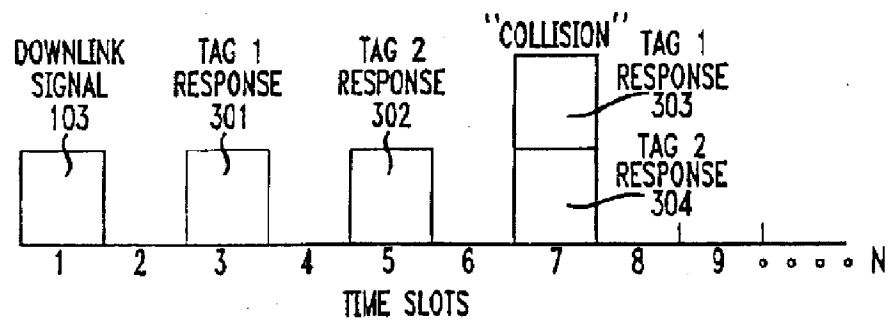
FIG. 11 shows one embodiment of the Interrogator shown in FIG. 1.

FIG. 1*FIG. 2*

DOWNLINK SIGNAL

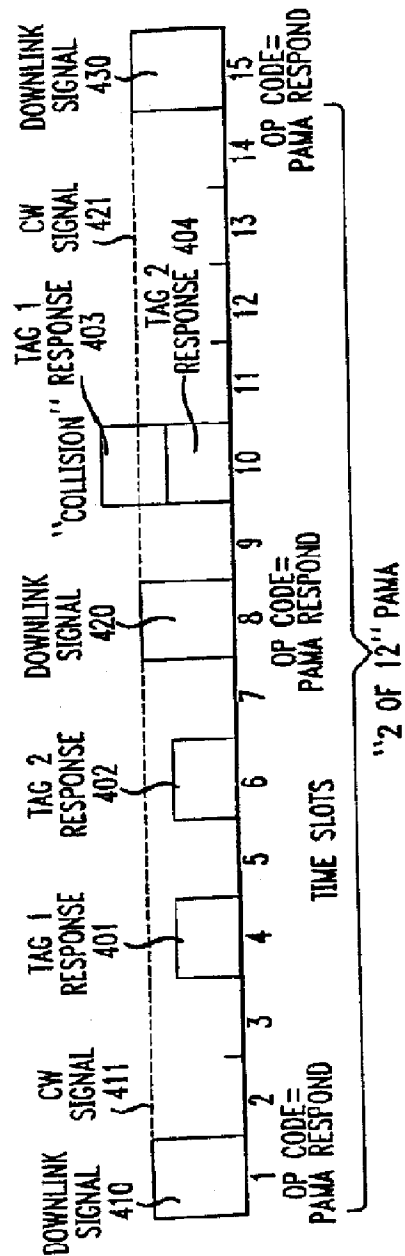
*FIG. 3*

(PRIOR ART)



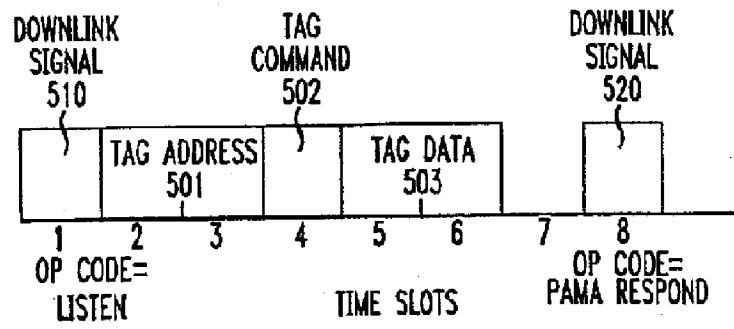
2/7

FIG. 4



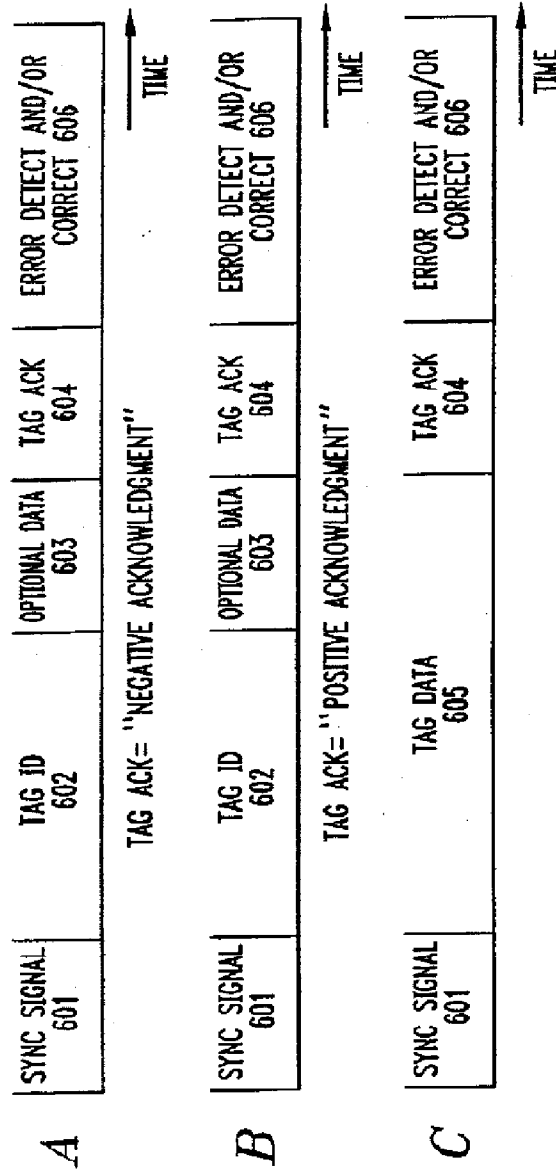
3/7

FIG. 5



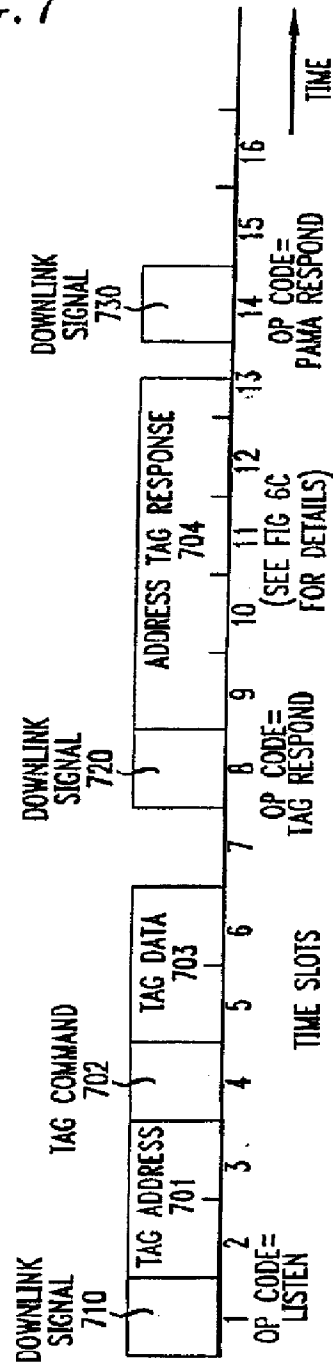
4/7

FIG. 6



5/7

FIG. 7



6/7

FIG. 8

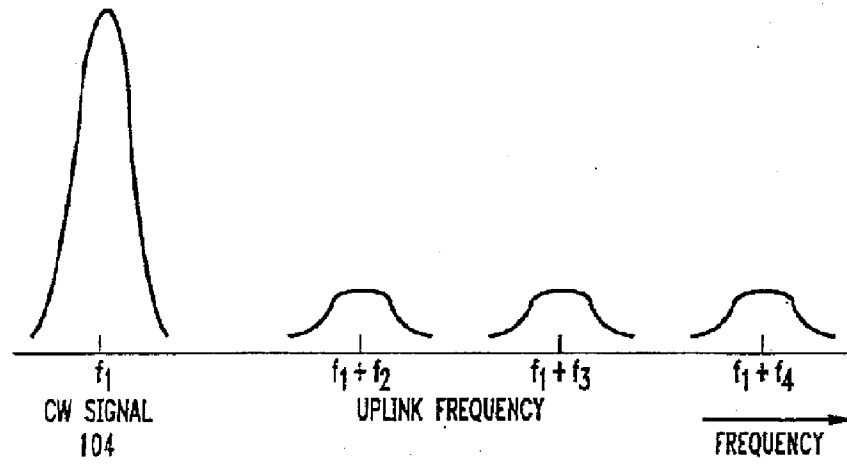
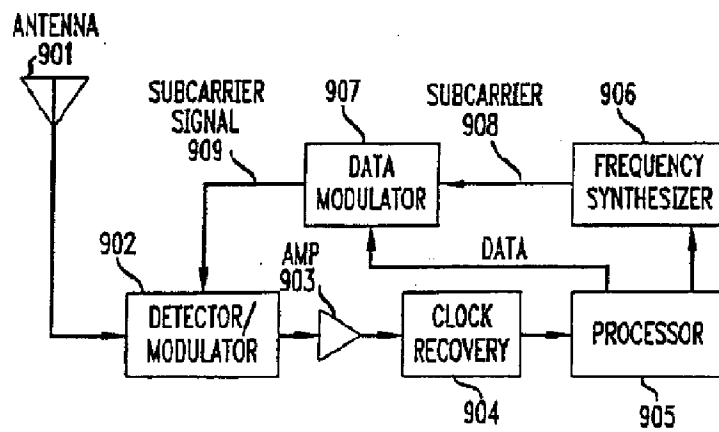


FIG. 9



7/7

FIG. 10

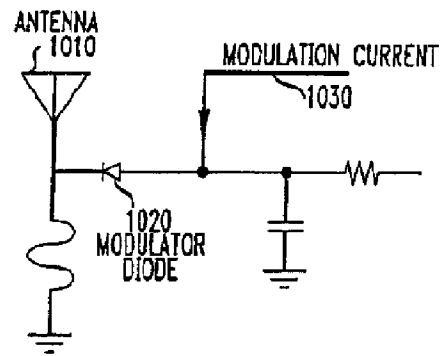
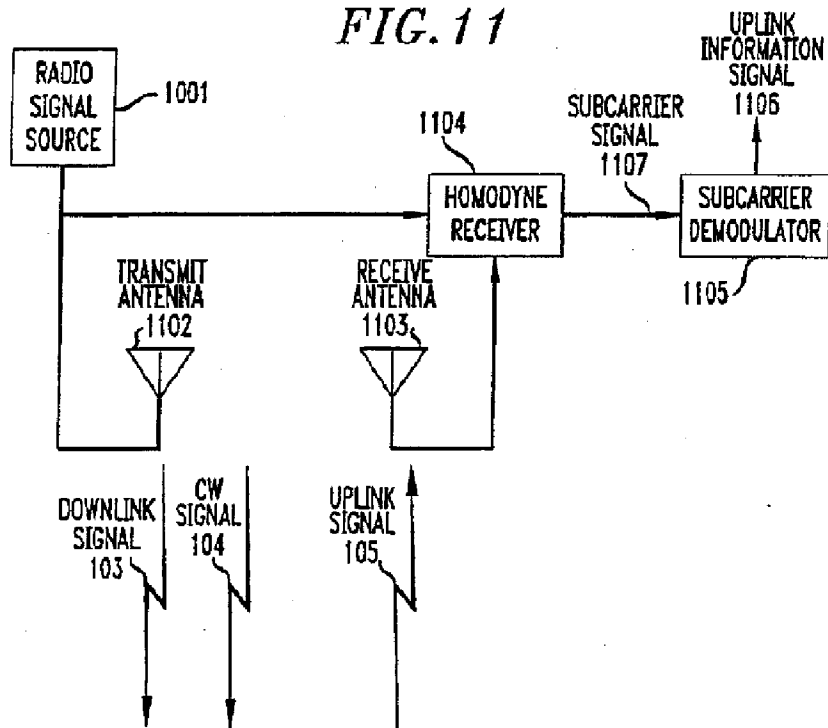


FIG. 11



1. Abstract

In accordance with the present invention, a novel Time Division Multiple Access (TDMA) duplex radio communication system comprises an Interrogator which generates a first radio signal by modulating a first information signal onto a radio carrier signal. The Interrogator transmits the first radio signal to at least one remote Tag of the system. The remote Tag receives and processes the received first radio signal. The remote Tag then modulates a second information signal onto a second radio carrier signal to form a second modulated signal. This second modulated signal is then transmitted, in a time-slotted manner, back to the Interrogator. The remote Tag selects, or is instructed, how many times it should repetitively transmit the second modulated signal; and selects, or is instructed, over how many of the time slots following receipt of the first radio signal the remote Tag should repetitively transmit the second modulated signal. Other embodiments of this invention include the use of Modulated Backscatter to transmit the second modulated signal, and the use of homodyne detection to demodulate the second modulated signal. A Frequency Division Multiple Access (FDMA) duplex radio communication system embodiment utilizes multiple subcarrier frequencies and another embodiment combines the FDMA and the TDMA methods. A Code Division Multiple Access (CDMA) embodiment utilizes multiple spreading codes; in addition, another embodiment combines the CDMA and the TDMA methods. A novel method for power control of the tag, using modulated backscatter, is also disclosed. Finally, a method for the Interrogator to instruct the Tag to dynamically alter the data rate of the second information signal is also disclosed.

2. Representative Drawing

Figure 1.